

Équipements
pour l'enseignement
technique

Mécanique appliquée
et conception mécanique

Table des matières

Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

Mécanique appliquée et conception mécanique

	Introduction	004
1	Mécanique appliquée – statique	008
2	Mécanique appliquée – résistance des matériaux	076
3	Mécanique appliquée – dynamique	142
4	Dynamique des machines	182
5	Conception mécanique	252
6	Essai des matériaux	314
	Index	380
	Aperçu de produits	386

Mentions légales

© 2017 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La réutilisation, le stockage, la reproduction et la réimpression – même partielle – du contenu sont interdits sans autorisation écrite préalable. GUNT est une marque déposée. Les produits GUNT sont donc protégés et relèvent du code de la propriété intellectuelle.

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression. Sous réserve de modifications.

Crédits photo: GUNT Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock
 Conception graphique & mise en page:
 Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hamburg
 Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

Systemes didactiques et d'apprentissage pour les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux

Les principes de base des mathématiques et des sciences, mais aussi des bases technologiques ainsi que la conception technique, servent de socle à la formation de base des ingénieurs.

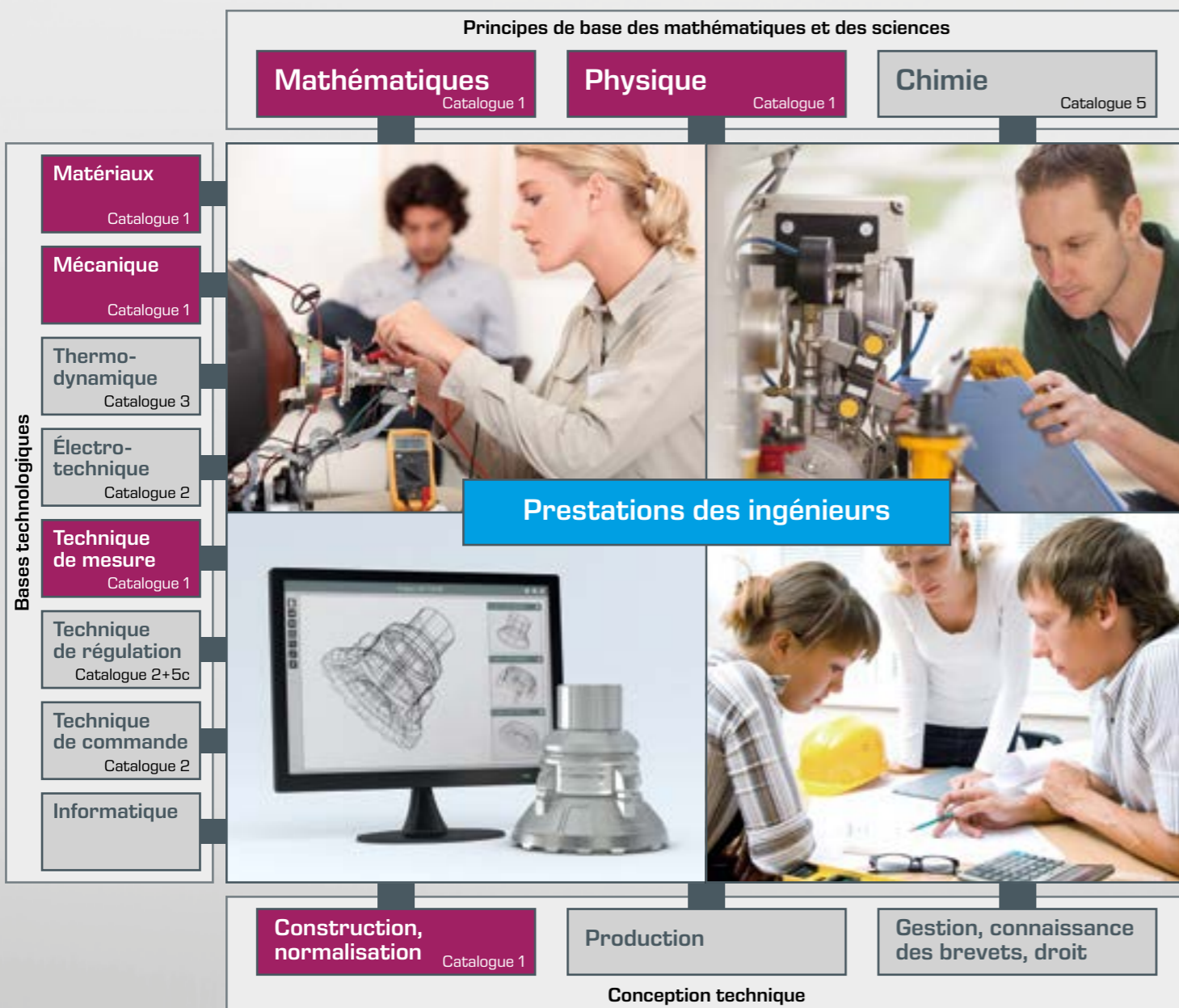
Les cursus d'ingénieurs s'orientent tous au départ sur les principes de base et les méthodes. Dans la suite des études, ces

acquis solides serviront de base aux matières d'approfondissement, et font donc partie du tronc commun de tout cursus d'ingénieur.

Principes de base et spécialités du travail d'ingénieur

Les principes à connaître pour tout travail d'ingénieur tels que les principes de base des mathématiques et des sciences, des bases technologiques et la conception technique, sont divisés en différentes spécialités comme la mécanique, la physique, la

thermodynamique, la construction. La figure suivante montre les relations qui existent entre les principes de base et les spécialités.



Qu'est-ce que GUNT peut faire pour vous ?

Bien connaître les principes de base est essentiel dans le développement technique, afin d'appréhender les différentes interconnexions et de pouvoir concevoir des systèmes complexes.

Les appareils de GUNT aident dans l'enseignement des connaissances de base en offrant des solutions pratiques. Il est important de développer une sensibilité pour le sujet afin d'être en mesure d'utiliser de manière juste et appropriée les différents composants, éléments de machine et matériaux. Le meilleur moyen d'y parvenir, c'est avant tout de **comprendre**.

Votre succès est notre objectif!

Le présent catalogue 1 comprend des appareils permettant d'effectuer des démonstrations et des essais qui aident à assimiler les principes de base dans les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux.

En plus des appareils individuels, GUNT a développé des séries d'appareils qui permettent de couvrir une thématique complète dans son ensemble. Les appareils appartenant à une même série sont interdépendants d'un point de vue thématique. Chaque appareil traite une question différente, mais toutes les questions forment un ensemble qui couvre une thématique complète.



Amélioration des conditions de vie de l'homme grâce au développement et à l'utilisation de moyens techniques

Systemes didactiques et d'apprentissage pour les domaines de la mécanique appliquée, de la conception mécanique et de l'essai des matériaux

Construction du catalogue

Un cheminement approfondi à travers les thématiques de base que sont la mécanique appliquée, les éléments de machine, la conception mécanique et l'essai des matériaux permet de préparer les étudiants à leur future profession d'ingénieur. Le tableau montre

un extrait de programme classique de l'enseignement technique supérieur tel qu'on en trouve dans les tables des matières des ouvrages techniques sur le thème de la mécanique appliquée. Les appareils GUNT couvrent très largement ces sujets.

Mécanique appliquée			
Statique Chapitre 1	Résistance des matériaux Chapitre 2	Dynamique (cinématique et cinétique) Chapitre 3	Dynamique des machines Chapitre 4
<ul style="list-style-type: none"> forces et moments, axiomes de la statique systèmes de forces dans un plan, conditions d'équilibre principe de coupe et tailles de coupe: force normale, effort tranchant, moment de flexion poutres, treillis, ponts, supports adhérence et frottement 	<ul style="list-style-type: none"> contraintes dues à: la traction, la compression, la poussée, la torsion problèmes de flambement déformations, contraintes loi d'élasticité méthodes énergétiques principe du travail virtuel analyse expérimentale des contraintes 	<ul style="list-style-type: none"> cinématique d'un point, cinématique des corps rigides cinétique d'un point de masse systèmes de points de masse dynamique des corps vibrations 	<ul style="list-style-type: none"> vibrations dans les machines vibrations de torsion de systèmes de courroies, flexions alternées
Conception mécanique			
Dessin industriel & modèles en coupe Chapitre 5	Éléments de machine & exercices de montage Chapitre 5		
<ul style="list-style-type: none"> développement de la représentation spatiale représentation en trois vues vue en coupe directives de conception modèles en coupe 	<ul style="list-style-type: none"> éléments du système de fixation paliers éléments de transmission / éléments de transformation exercices de montage 		
Essai des matériaux			
Essai des matériaux Chapitre 6			
<ul style="list-style-type: none"> essai mécanique des matériaux essais de traction, compression, flexion, dureté, torsion essai de résilience 		<ul style="list-style-type: none"> fatigue du matériau, résistance à la fatigue, résistance aux efforts alternés tribologie corrosion 	





Mécanique appliquée – statique

Introduction	
Aperçu Mécanique appliquée	010
Connaissances de base Statique	012
Aperçu Appareils d'essai pour le domaine de la statique	014

Forces et moments	
TM 110 Principe de la statique	016
TM 110.01 Jeu complémentaire plan incliné et frottement	018
TM 110.02 Jeu complémentaire poulies	019
TM 110.03 Jeu complémentaire roues dentées	020
TM 115 Forces dans le bras de grue	021
FL 111 Forces dans un treillis simple	022
EM 049 Équilibre des moments d'un levier à deux bras	023
SE 110.53 Équilibre dans un système plan isostatique	024
TM 121 Équilibre des moments sur des poulies	026
TM 122 Équilibre des moments sur une poulie différentielle	027

Réactions internes et méthodes de sections	
Connaissances de base Réactions internes et principe de coupe sur des barres, poutres et câbles	028
WP 960 Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion	030
WP 961 Poutre sur 2 supports: courbe des efforts tranchants	032
WP 962 Poutre sur 2 supports: courbe des moments de flexion	033
SE 110.50 Câble soumis au poids propre	034

Forces dans un treillis	
Connaissances de base Méthode des sections pour les treillis plans	036
SE 110.21 Forces dans différents treillis plans	038
SE 110.22 Forces dans un treillis hyperstatique	040
SE 130 Forces dans un treillis type Howe	042
SE 130.01 Poutre à treillis: type Warren	044

Ponts, poutres, arcs, câbles	
SE 110.18 Forces au niveau d'un pont suspendu	046
SE 110.12 Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever	048
SE 110.17 Arc à trois articulations	050
SE 110.16 Arc parabolique	052

Accessoires	
Aperçu FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauges de contrainte	054
FL 152 Amplificateur de mesure multivoie	056
SE 112 Bâti de montage	058
Brochure Cours: Mécanique appliquée	060

Adhérence et frottement	
Connaissances de base Adhérence et frottement	068
TM 210 Frottement entre des corps solides	070
TM 200 Principes du frottement mécanique	072
TM 225 Frottement sur un plan incliné	073
TM 220 Entraînement par courroie et frottement de courroie	074

Mécanique appliquée

Matière fondamentale de tous les cursus d'ingénieur, la **mécanique appliquée** décrit les mouvements des corps ainsi que ceux des forces liées à ces mouvements.

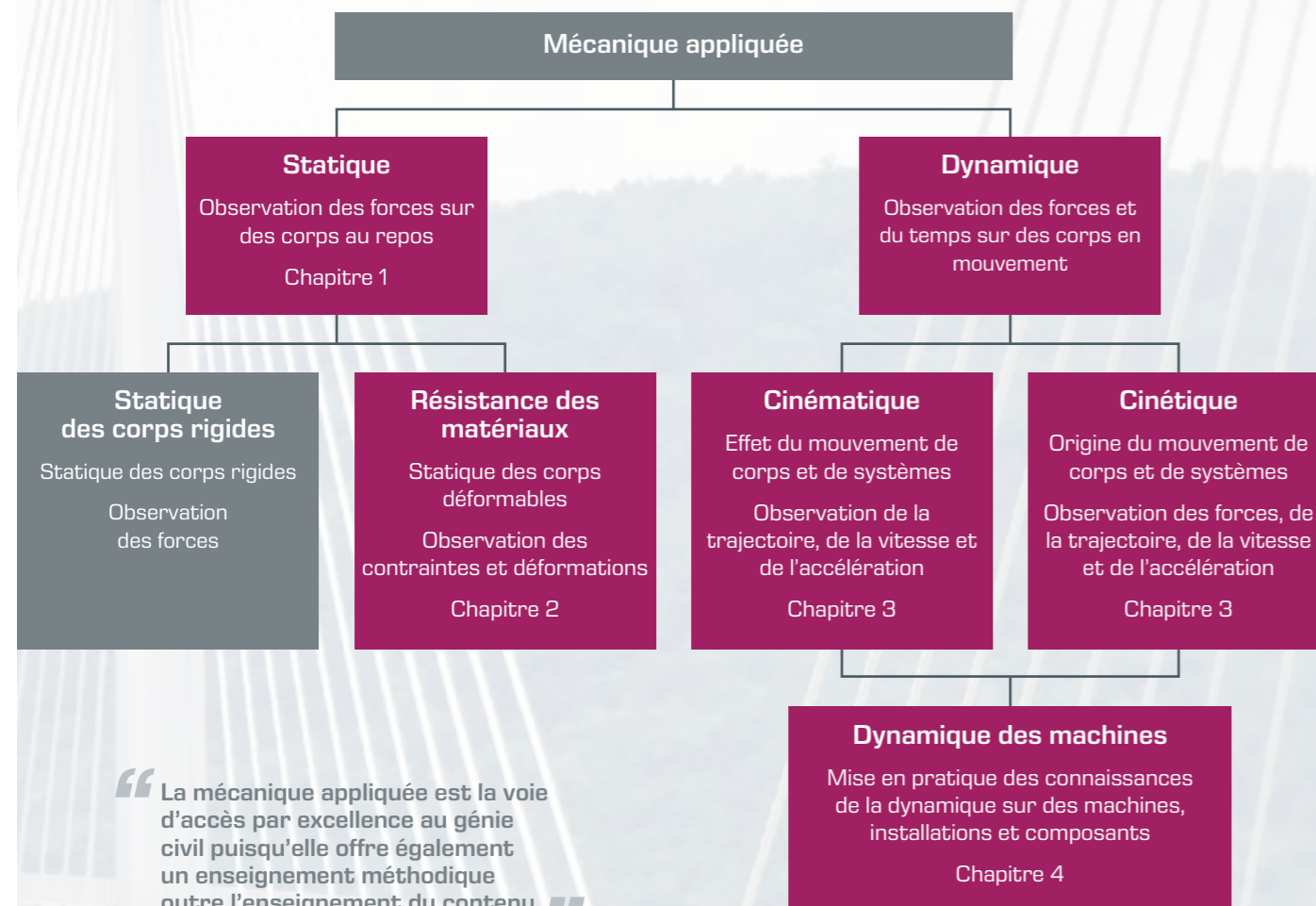
La mécanique appliquée étudie l'équilibre des forces et en déduit entre autres les sollicitations, comme p.ex. les contraintes et les déformations, auxquelles est soumis un composant. En se servant de valeurs caractéristiques telles que la résistance, les contraintes ou les déformations admissibles, on compare la sollicitation réelle et la sollicitation admissible pour pouvoir ensuite dimensionner un composant. Il est impératif pour cela que la sollicitation appliquée à un composant soit inférieure à sa sollicitation admissible.

En association avec les matières fondamentales science des matériaux et éléments de machine, la mécanique appliquée donne des méthodes de calcul fondamentales pour le dimensionnement des constructions dans tous les domaines du technique. La mécanique appliquée constitue ainsi le lien entre les connaissances théoriques de base et la mise en pratique, et est indispensable à la compréhension et à l'analyse globale de systèmes techniques complexes.

Dans l'enseignement technique, le domaine de la mécanique appliquée est habituellement divisé de la manière suivante en différents sous-domaines:

- **mécanique appliquée I** avec la thématique statique
- **mécanique appliquée II** avec la thématique résistance des matériaux ou statique élastique
- **mécanique appliquée III** avec les thématiques cinématique et cinétique, également appelée dynamique

Structure générale de la spécialité mécanique appliquée et correspondances dans le présent catalogue



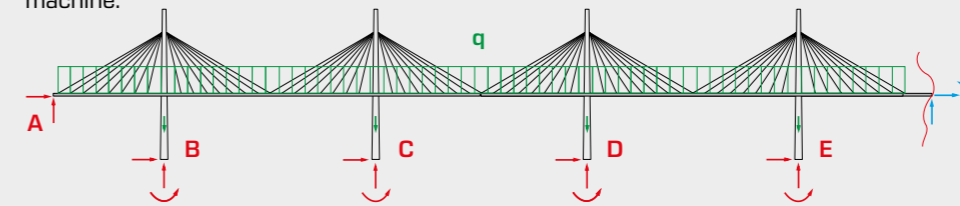
“ La mécanique appliquée est la voie d'accès par excellence au génie civil puisqu'elle offre également un enseignement méthodique outre l'enseignement du contenu. ”

Prof. Dr.-Ing. Frank Mestemacher,
département de Mécanique de l'école supérieure de Stralsund

Les thématiques du domaine de la mécanique appliquée

Statique

La statique dispense des connaissances élémentaires permettant d'analyser les charges qui s'exercent sur les systèmes mécaniques. Ces connaissances sont ensuite utilisées pour concevoir et dimensionner les composants et les éléments de machine.

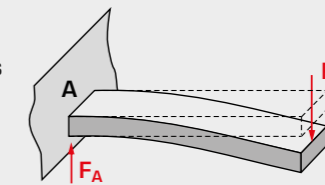


Exemple de distribution des forces: le viaduc de Millau



Résistance des matériaux

La résistance des matériaux a pour objet les déformations des systèmes élastiques soumis à des charges telles que compression, traction, flexion, torsion et poussée, ainsi que la détermination des états de contrainte qui en découlent.

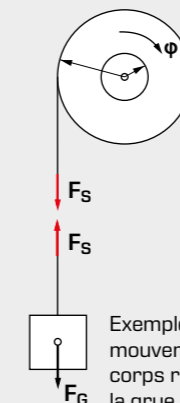


Exemple de charge de flexion d'une poutre fixe sur un seul côté: le plongeur



Dynamique (cinématique et cinétique)

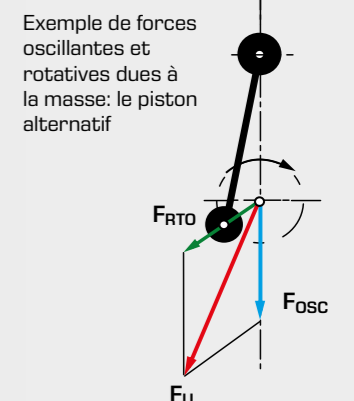
La dynamique étudie les systèmes en mouvement: la cinématique s'intéresse au déroulement du mouvement, indépendamment de son origine. La cinétique observe le mouvement des corps rigides sous l'influence de forces.



Exemple de mouvement de corps rigides: la grue de levage

Dynamique des machines

En s'appuyant sur les principes de base de la mécanique appliquée, la dynamique des machines s'intéresse aux interactions entre les forces dynamiques et les grandeurs de mouvement à l'intérieur des machines.



Exemple de forces oscillantes et rotatives dues à la masse: le piston alternatif

Connaissances de base

Statique

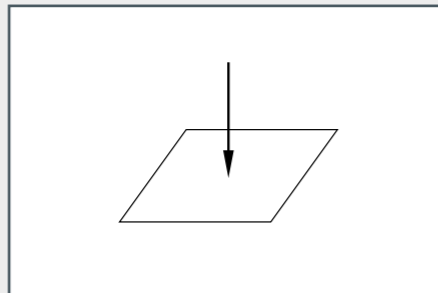
La statique étudie les effets des forces sur des corps rigides en équilibre. Deux forces se trouvent en équilibre lorsqu'elles sont de même taille, sont orientées dans des directions opposées et ont la même ligne d'action. En statique, un corps est considéré comme rigide lorsque les déformations provoquées par les forces exercées sont négligeables par rapport aux dimensions de ce corps.

L'objet principal de la statique consiste à étudier l'équilibre des forces de corps ou de systèmes mécaniques. S'appuyant sur les axiomes de la mécanique, la mécanique des corps rigides a pour objet l'équivalence et l'équilibre des systèmes de forces, le calcul du centre de gravité, les forces et moments internes dans des poutres et les treillis, ainsi que les problèmes de frottement. De manière générale, les structures considérées sont des structures porteuses qui se trouvent au repos, et qui doivent le rester du fait de leur fonction. La statique ne considère pas les propriétés des matériaux: ces dernières sont étudiées dans le cadre de la résistance des matériaux.

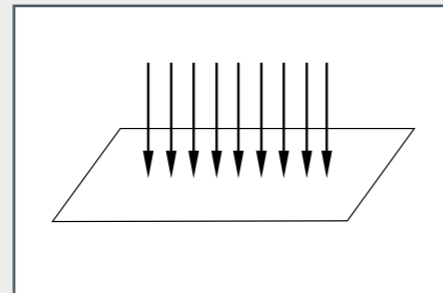
Termes de base de la statique

La **force**, en tant qu'origine des modifications de mouvement ou de forme, est décrite par sa valeur, la position de la ligne d'action et la direction le long de la ligne d'action. Les forces sont classées selon différents aspects:

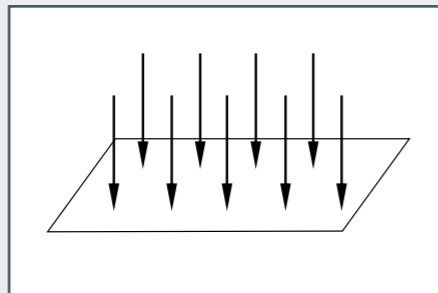
Classement selon la dimension



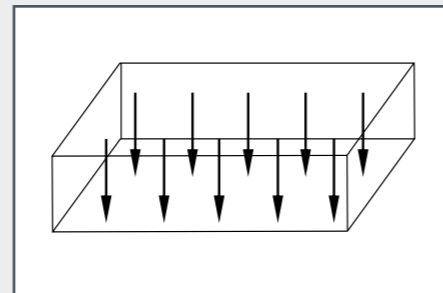
Force ponctuelle:
s'exerce en un point unique (idéalisé en mécanique)



Force linéaire / charge linéaire:
force répartie de manière continue le long d'une ligne (idéalisé en mécanique)



Force en surface: apparaît sur la surface ou en tant que charge de compression (pression de l'eau sur une digue, charge de la neige sur un toit)

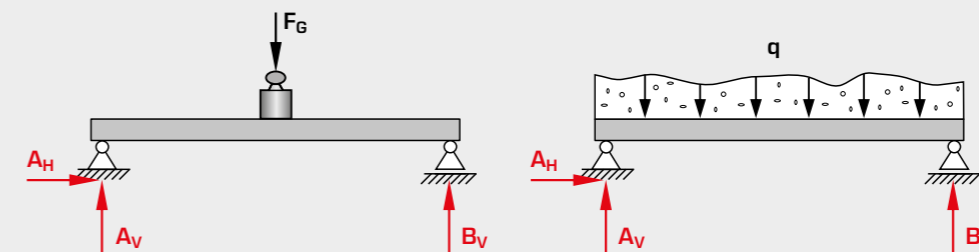


Force en volume:
agit de manière répartie dans l'espace sur le volume d'un corps (poids, forces magnétiques, forces électriques)

Classement selon l'origine

Force physique (F, q): agit de manière active sur un corps (p.ex. poids, pression du vent, charge de la neige)

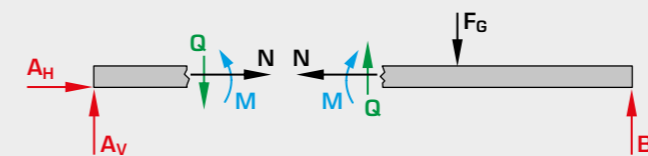
Force de réaction ou force de contrainte (A_V, A_H, B_V): agit dans la direction opposée à la force physique, et assure le maintien du corps en équilibre (p.ex. force normale F_N, réaction d'appui, force d'adhésion)



Classement dans le système

Force interne: on l'obtient par le biais d'une coupe virtuelle du corps. Cette force agit entre les parties d'un corps ou d'un système (force normale N, effort tranchant Q, moment de flexion M).

Force externe: agit depuis l'extérieur sur un corps (p.ex. poids, pression du vent, charge de la neige, force d'adhésion, réaction d'appui)

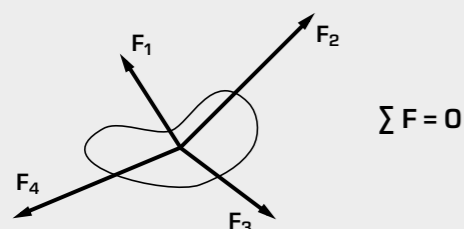


F_G poids, q force de la neige, A et B réactions d'appui, indice V forces verticales, indice H forces horizontales, N force normale, Q effort tranchant, M moment de flexion

Axiomes de la statique

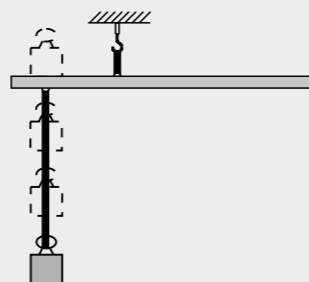
Principe d'inertie:

tout corps perdure dans un état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, tant qu'il n'est pas contraint de quitter cet état sous l'effet de forces agissant sur lui.



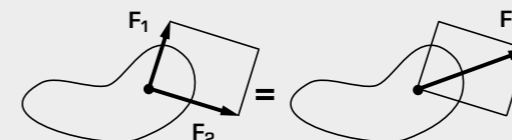
Principe du déplacement:

deux forces de même valeur, de même ligne d'action et de même direction mais dont les points d'action sont différents, exercent une action identique sur un corps rigide, elles sont dites équivalentes. En d'autres termes: on a le droit de déplacer le vecteur de force le long de la ligne d'action.



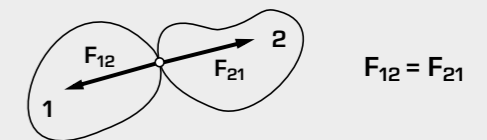
Principe du parallélogramme:

l'action de deux forces avec point d'application commun est équivalente à l'action d'une seule force dont le vecteur est la diagonale d'un parallélogramme et qui a le même point d'application que les deux forces.



Principe de réaction:

lorsqu'un corps exerce une force sur un autre corps (action), cela entraîne pareillement l'exercice d'une force par ce second corps sur le premier (réaction); cette force a alors la même valeur et la même ligne d'action que la première force, mais une direction opposée à la sienne.



Appareils d'essai pour le domaine de la statique

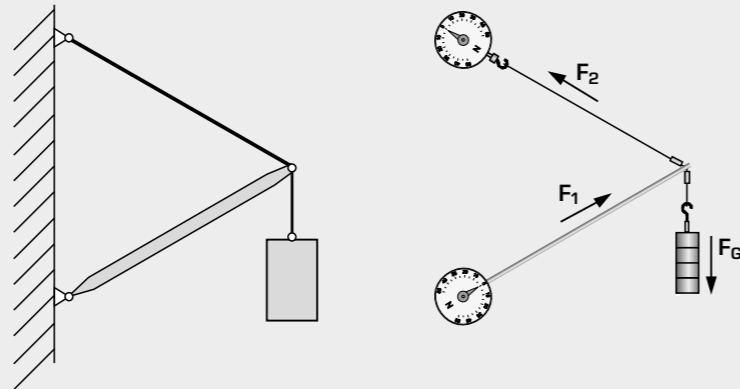
Le chapitre mécanique appliquée – statique propose des appareils d'essai sur les thématiques suivantes:

Forces et moments

- démonstration de forces et décomposition graphique des forces
- étude de systèmes de levier
- systèmes de forces centrales dans un plan, systèmes statiquement déterminés
- efforts dans la barre, réactions d'appui, équilibre des forces, équilibre des moments, conditions d'équilibre



TM 115 Forces dans le bras de grue



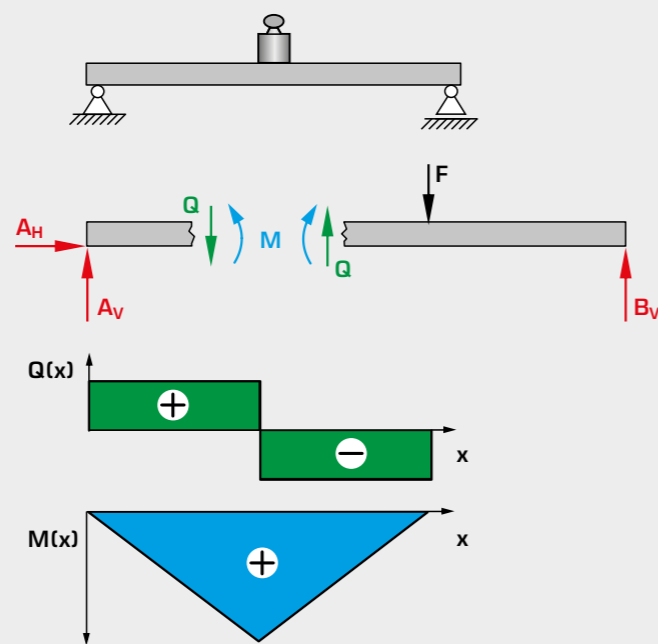
Décomposition des forces d'un système de forces central dans un plan
Forces externes: F_1 et F_2 efforts dans la barre, F_G poids

Réactions internes / principe de coupe

- démonstration de réactions internes
- application du principe de coupe
- étude de la courbe des forces normales, des efforts tranchants et des moments de flexion



WP 960 Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



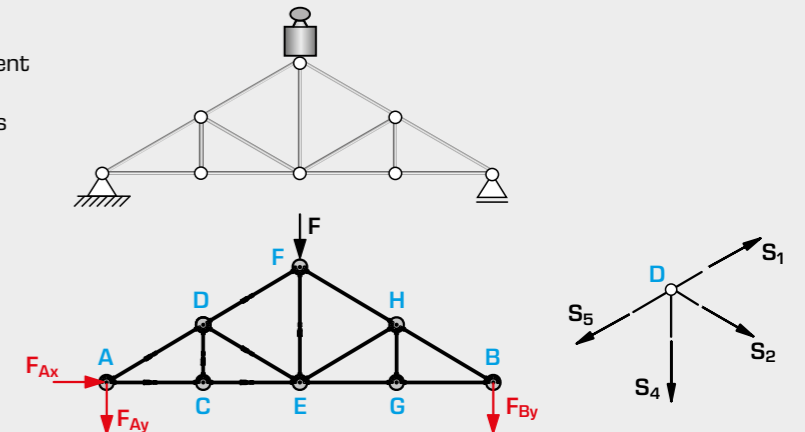
Réactions internes dans une poutre
 F force externe, A_V , A_H , B_V réactions d'appui, Q effort tranchant, M moment de flexion

Forces dans un treillis

- efforts dans la barre dans les treillis statiquement déterminés et les treillis hyperstatiques
- dépendance des efforts dans la barre envers les forces externes
- méthode des sections: méthode des nœuds, méthode de Ritter
- méthode graphique: épure de Cremona



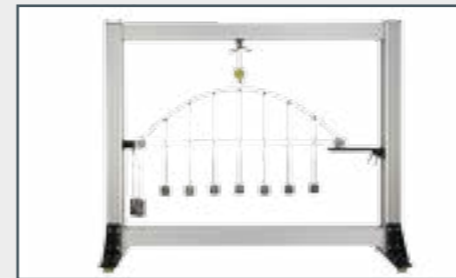
SE 110.21 Forces dans différents treillis plans



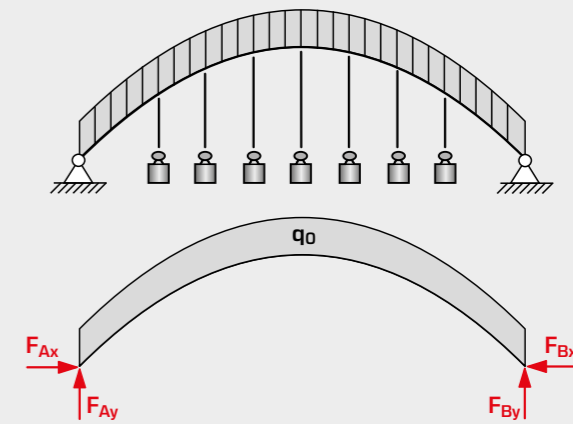
Méthode des nœuds pour la détermination des forces sur un treillis
 F force, F_{Ax} , F_{Ay} , F_{Bx} , F_{By} réactions d'appui, S efforts dans la barre, A-H nœuds

Ponts, poutres, arcs, câbles

- calcul des réactions d'appui
- détermination des réactions internes
- différents cas de charge: charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile



SE 110.16 Arc parabolique



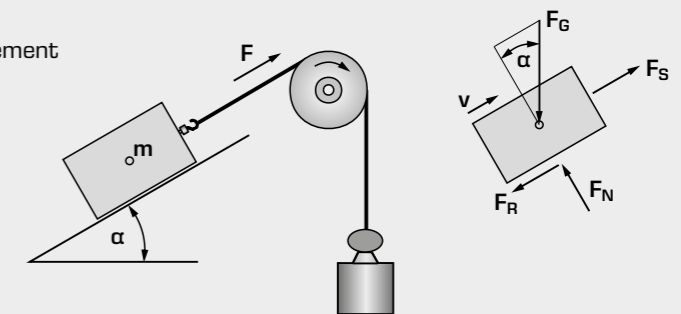
Charge linéaire et réactions d'appui sur un arc
 F_{Ax} , F_{Ay} , F_{Bx} , F_{By} réactions d'appui, q_0 charge linéaire

Adhérence et frottement

- frottement d'adhérence et frottement de glissement
- démonstration des forces de frottement
- détermination des coefficients de frottement



TM 225 Frottement sur un plan incliné



Frottement sur un plan incliné
 F_G poids, F_S force externe, F_N force normale, F_R force de frottement de glissement, v vitesse, α angle d'inclinaison, m masse

TM 110

Principe de la statique



Description

- appareil d'essai polyvalent pour illustrer les systèmes de forces mécaniques dans le plan
- gamme des essais pouvant être élargie par des jeux complémentaires

L'appareil d'essai illustre les principes de la statique, tels que l'équilibre des forces et des moments, la décomposition des forces et le principe des leviers.

L'élément de base est une table. Des pieds d'appui permettent d'utiliser l'appareil sur une table de laboratoire. Toutes les pièces nécessaires pour l'essai peuvent être fixées rapidement aux profilés en rotation. La trame lignée imprimée et les tiges de levier avec échelle graduée permettent d'établir des structures sur mesure. Les rapports de longueur pouvant être lus sur la trame permettent de déterminer facilement des angles. Les diverses pièces de montage, telles que les câbles, les tiges, les poulies, les plateaux de couple, les paliers rotatifs peuvent être facilement fixés et combinés. Les roulements à billes intégrés dans la table permettent d'effectuer des essais de couple à faible frottement. Grâce à sa diversité, l'appareil d'essai encourage le développement créatif de ses propres essais.

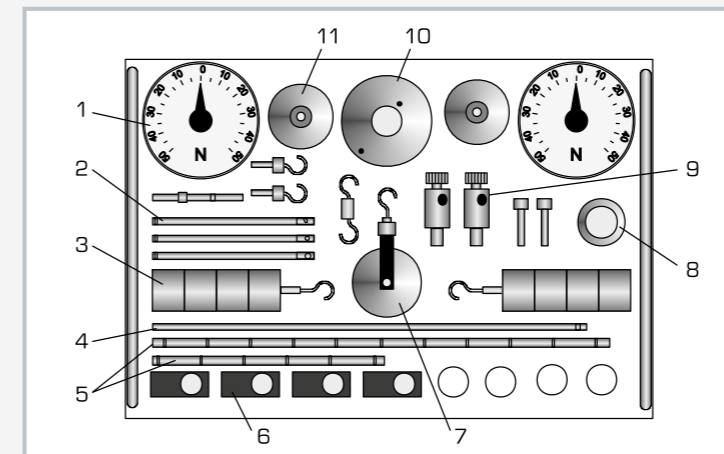
Les dynamomètres à cadran avec grand affichage sont particulièrement adaptés à des fins de démonstration. Le cadran réglable permet de prendre en compte des précharges, par ex. poids propres.

Particularités didactiques: il est possible d'écrire directement sur la table avec un feutre effaçable. Des repères, des notes et des remarques peuvent être indiqués afin de compléter les essais. Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

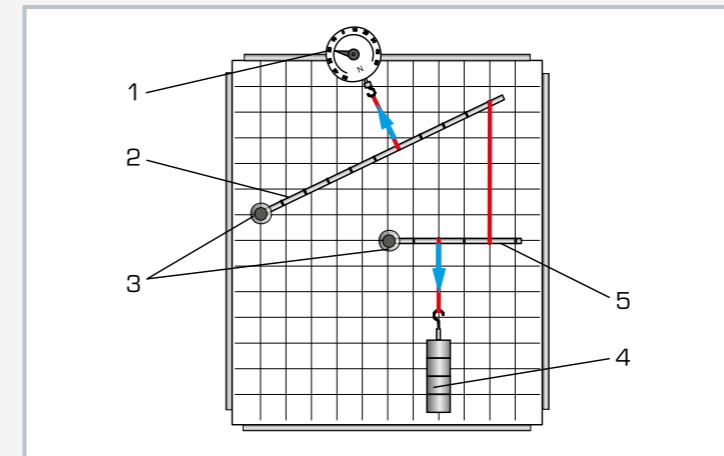
Trois jeux complémentaires élargissent la gamme des essais de l'appareil d'essai et permettent d'effectuer des essais en rapport avec les thèmes suivants: plan incliné, frottement, poulies et roues dentées.

Contenu didactique/essais

- addition et décomposition des forces avec le parallélogramme des forces
- équilibre des forces
- principe des leviers, détermination des moments et de l'équilibre des moments
- système de leviers assemblé
- forces dans les appuis
- déviation et répartition de la force à l'aide d'une poulie fixe et d'une poulie folle
- avec jeux complémentaires
 - ▶ plan incliné; frottement (TM 110.01)
 - ▶ poulies (TM 110.02)
 - ▶ roues dentées (TM 110.03)

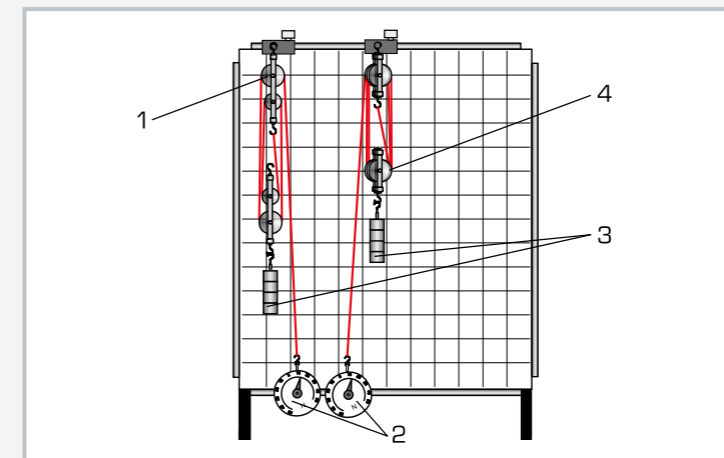


1 dynamomètre à cadran, 2 tige de traction, 3 poids avec suspente, 4 tige de traction et tige de poussée, 5 tige de levier, 6 élément de fixation, 7 poulie folle, 8 plateau de couple, 9 palier rotatif, 10 plateau de couple avec palier, 11 poulie de renvoi



Montage expérimental système de leviers assemblés:

1 dynamomètre à cadran, 2 tige de levier longue, 3 palier rotatif, 4 poids, 5 tige de levier courte; rouge: câbles, bleu: forces



Montage expérimental avec jeu complémentaire poulies (TM 110.02): 1 poulie à quatre câbles, 2 dynamomètre à cadran, 3 poids, 4 poulie à six câbles

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'essai pour représenter les systèmes de forces simples et plans
- [2] table avec profilés en rotation pour monter facilement les différentes structures d'essai
- [3] table directement inscriptible avec trame lignée imprimée de 50mm
- [4] tiges de levier avec tramage de 50mm
- [5] diverses pièces de montage: câbles, tiges, poulies, plateaux de couple, paliers rotatifs
- [6] dynamomètres à cadran pour les forces de traction et de compression avec grand affichage
- [7] cadran pivotant du dynamomètre
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Table

- LxH: 600x700mm, 13kg
- graduation trame lignée: 50mm

Dynamomètre à cadran pour la force de traction et la force de compression

- plage de mesure: $\pm 50\text{N}$
- diamètre de l'affichage: $\varnothing = 110\text{mm}$
- protégé contre les surcharges

Poids

- 2x 5N (suspentes)
- 6x 5N

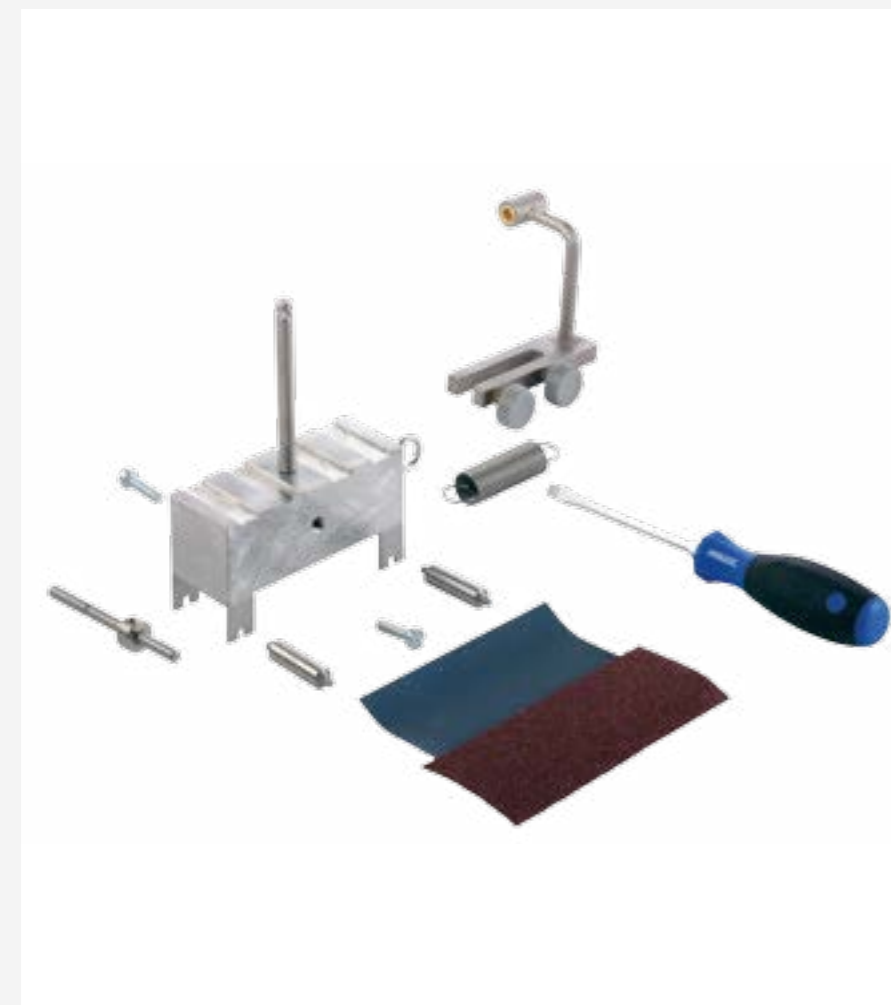
Lxh: 600x700mm (table)

Lxlxh: 604x404x132mm (système de rangement)

Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 table
- 1 jeu de pièces de montage
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 110.01**Jeu complémentaire plan incliné et frottement**

L'illustration montre les pièces de TM 110.01 sans le rail profilé.

Description

■ **mesure et démonstration de l'allongement d'un ressort, influence du frottement mécanique sur un plan incliné**

Le jeu complémentaire TM 110.01 élargit la gamme des essais du TM 110 avec les sujets allongement élastique d'un ressort hélicoïdal, forces au niveau du plan incliné et frottement.

Un rail profilé en aluminium sert de plan incliné. Un corps de frottement dont les surfaces latérales sont préparées pour différentes conditions de frottement est utilisé pour les essais de frottement.

Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

Contenu didactique/essais

- allongement élastique d'un ressort hélicoïdal (loi de Hooke)
- frottement dynamique en fonction de la force normale des surfaces de contact et de la nature de la surface du corps de frottement
- détermination du coefficient de frottement
- frottement de roulement
- rapports de force au niveau du plan incliné

Spécification

- [1] jeu complémentaire pour l'appareil d'essai TM 110
- [2] essais en rapport avec la loi de Hooke, le frottement et le plan incliné
- [3] corps de frottement avec 3 surfaces de frottement de nature différente
- [4] rail profilé forme le plan incliné
- [5] ressort hélicoïdal en acier
- [6] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Ressort hélicoïdal

- constante de ressort: env. 0,95N/cm
- charge max.: 25N

Corps de frottement en aluminium

- LxlxH: 110x40x40mm
- charge morte: 5N
- 2 côtés avec surfaces de grandeurs différentes
- 2 côtés avec diverses surfaces irrégulières

Rail profilé en aluminium anodisé

- LxlxH: 800x50x10mm

Lxlxh: 160x103x75mm (système de rangement)
Poids: env. 5kg

Liste de livraison

- 1 jeu complémentaire
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

TM 110.02**Jeu complémentaire poulies****Description**

■ **montage et principe de trois poulies différentes**

Le jeu complémentaire TM 110.02 élargit la gamme des essais du TM 110 avec le sujet comparaison de différentes poulies et de leurs effets en tant que "machines simples".

Les poulies sont montées au niveau de la table de l'appareil TM 110.

Lors d'une course, la trame lignée de la table facilite la détermination des trajets parcourus: trajet de la charge et direction de la force.

Les poulies sont fabriquées en métal. Le roulement à billes et le palier lisse incorporés se chargent des mouvements de rotation à faible frottement. Les détails de la disposition des poulies et du guidage de câble sont clairement visibles.

Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

Contenu didactique/essais

- montage et principe des palans à 4 poulies et à 6 poulies, poulie différentielle
- principe des "machines simples": transmission de force, travail de levage et énergie potentielle

Spécification

- [1] jeu complémentaire pour l'appareil d'essai TM 110
- [2] disposition des poulies et guidage de câble clairement visibles
- [3] palans: à 4 ou 6 poulies, traction différentielle avec chaîne à rouleaux
- [4] poulies à câble en aluminium anodisé, montées sur roulement à billes
- [5] roues à chaîne selon DIN 8191
- [6] moyen de traction: câble de nylon, chaîne à rouleaux
- [7] matériaux en acier inoxydable ou acier galvanisé
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Moyen de traction

- câble de nylon: $\varnothing=2\text{mm}$
- chaîne à rouleaux: 6,0x2,8mm selon DIN 8187

Roues à chaîne

- nombre de dents: $z=18, 28, 38$

Poulies à câble

- en aluminium anodisé, montées sur roulement à billes

Lxlxh: 604x404x132mm (système de rangement)
Poids: env. 12kg

Liste de livraison

- 1 jeu complémentaire
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 110.03

Jeu complémentaire roues dentées



Description

■ mode de fonctionnement d'un engrenage à un ou plusieurs étages

Le jeu complémentaire TM 110.03 élargit la gamme des essais du TM 110: rapport de transmission, de rotations et des moments au niveau d'un engrenage à un ou plusieurs étages et influence des roues intermédiaires sur le sens de rotation. La transformation des rotations en mouvements linéaires et vice versa peut être démontrée à l'aide d'une crémaillère.

Un rail profilé en aluminium pouvant être placé sur la table du TM 110 avec des éléments de serrage sert d'élément de base.

Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, permettant un rangement peu encombrant.

Contenu didactique/essais

- rapport de transmission, vitesse de rotation et moment au niveau de l'engrenage à un étage
- influence des roues intermédiaires sur le sens de rotation
- rapport de transmission au niveau de l'engrenage à deux étages
- transformation du mouvement de rotation en mouvement linéaire et vice versa

Spécification

- [1] jeu complémentaire pour l'appareil d'essai TM 110
- [2] essais avec l'engrenage à un étage et l'engrenage à plusieurs étages
- [3] roues droites en aluminium avec logements montés sur roulement à billes
- [4] montage rapide des éléments
- [5] poulie de renvoi, rail de montage et roues dentées en aluminium anodisé
- [6] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

- Roues droites en aluminium
- module: $m=2\text{mm}$
 - nombre de dents: $z=20, 25, 30, 40, 50, 60$
 - logements pour roue dentée montées sur roulement à billes, fixation avec des éléments de pression sur des tourillons rainurés

Crémaillère

- module: $m=2\text{mm}$
- longueur: $L=300\text{mm}$

Rail de montage en aluminium anodisé

- Lxlxh: $760 \times 30 \times 30\text{mm}$

Lxlxh: $604 \times 404 \times 132\text{mm}$ (système de rangement)

Poids: env. 12kg

Liste de livraison

- 1 jeu complémentaire
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 115

Forces dans le bras de grue



Description

■ étude vectorielle d'un système de forces dans un plan central

Le TM 115 représente un système de forces d'un plan central dans lequel plusieurs forces uniques agissent au niveau d'un point d'application commun. Dans l'exemple d'un bras de grue, des forces sont déterminées sous forme graphique et de manière expérimentale: force portante du câble, force de traction et force de compression résultante. La direction et l'intensité des forces sont déterminées sous forme graphique par un parallélogramme des forces.

Une barre réglable en longueur et une chaîne à maillons forment le bras de grue qui est fixé à une tige de retenue à l'aide d'éléments de serrage réglables. Des poids sont placés au niveau du bras de grue. Les efforts dans la barre créés sont indiqués par des pesons à ressort intégrés.

Contenu didactique/essais

- décomposition graphique des forces avec parallélogramme des forces
- détermination des efforts dans la barre au niveau des différentes formes de bras
- comparaison: résultat de mesure – calcul – méthode graphique

Spécification

- [1] forces de traction et de compression dans le système de forces plan central en prenant comme exemple un bras de grue
- [2] pesons à ressort intégrés dans les barres
- [3] charge max. au niveau du bras de grue 50N
- [4] tige de retenue en acier inoxydable
- [5] plaque de base en métal stable
- [6] des poignées facilitent le transport
- [7] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Peson à ressort pour forces de traction

- force de traction: $0 \dots 50\text{N}$
- graduation: $0,5\text{N}$

Peson à ressort pour forces de compression

- force de compression: $0 \dots 50\text{N}$
- graduation: 1N

Poids

- 1x 1N (suspente)
- 4x 1N
- 1x 5N
- 4x 10N

Lxlxh: $600 \times 200 \times 620\text{mm}$

Poids: env. 10kg

Lxlxh: $720 \times 480 \times 178\text{mm}$ (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 pesons à ressort
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

FL 111**Forces dans un treillis simple****Contenu didactique/essais**

- mesure des efforts dans la barre
- calcul des efforts dans la barre avec la méthode des nœuds
- comparaison: résultat de mesure – calcul – méthode graphique

Spécification

- [1] décomposition des forces dans le système plan isostatique
- [2] 3 disques de jonction dont 2 servent d'appuis
- [3] 3 barres, chacune équipée d'un ressort plat et d'un comparateur à cadran
- [4] 2 longueurs de barre fixes, 1 longueur de barre variable
- [5] 5 angles différents entre les barres réglables
- [6] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques**Barres**

- barre fixe: L=440mm
- barre réglable: L=440, 622, 762mm

Angle entre les barres

- 60°-60°-60° / 45°-90°-45°
- 30°-120°-30° / 30°-30°-120°

Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...10mm
- graduation: 0,01mm

Poids

- 1x 1N (chochet)
- 1x 10N
- 2x 20N

Ressort plat

- plage de mesure de la force: 0...50N

Lxlxh: 900x200x600mm

Poids: env. 15kg

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 3 barres
- 3 disques de jonction
- 3 comparateurs à cadran
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Description**■ décomposition des forces dans un treillis simple**

Le FL 111 représente un treillis idéal. Dans le système plan, les barres sont soumises uniquement à la compression et à la traction. Les charges sont appliquées uniquement dans les nœuds.

L'appareil se compose de trois barres reliées l'une à l'autre de manière articulée via des disques de jonction. Une barre réglable en longueur permet de monter le treillis avec différents angles. Les barres s'enclenchent dans les disques à l'aide de fermetures encliquetées. Deux des disques de jonction forment en même temps les appuis (fixes et libres) et sont calés sur le bâti de base stable en profilé d'aluminium. La charge extérieure est appliquée au nœud supérieure à l'aide de poids.

Les efforts dans la barre créés sont mesurés via la déformation des ressorts plats placés au centre de la barre.

EM 049**Equilibre des moments d'un levier à deux bras****Contenu didactique/essais**

- principes de l'équilibre des moments: forces appliquées, moments créés et équilibre
- effets des forces en fonction du bras de levier

Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments au niveau du levier à deux bras
- [2] poutre montée sur roulement à billes avec règle graduée intégrée comme levier à deux bras
- [3] bâti en métal stable et fixe
- [4] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques**Poutre**

- Lxlxh: 600x30x10mm, montée sur roulement à billes au centre
- longueur de levier: 2x 300mm

Poids

- 3x 1N (suspenes)
- 6x 5N
- 12x 1N

Lxlxh: 600x300x410mm

Poids: env. 10kg

Système de rangement:

Lxlxh: 200x70x40mm

Lxlxh: 95x68x35mm

Description**■ principes de l'équilibre des moments et application du principe des leviers**

Le EM 049 permet d'étudier les principes de l'équilibre des moments en prenant l'exemple d'un levier à deux bras. Les moments créés au niveau du levier doivent être équilibrés.

Une poutre posée au centre forme un levier à deux bras. Des cavaliers coulissants sont placés sur le levier et des poids sont appliqués.

L'équilibre est réglé en déplaçant les poids. Les intervalles par rapport au point d'articulation (les bras de levier) peuvent être lus sur une échelle intégrée. Le calcul des bras de levier est vérifié durant l'essai.

Une colonne soutient le levier et une plaque de base stable garantit une position sûre.

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

SE 110.53**Équilibre dans un système plan isostatique**

L'illustration montre le SE 110.53 dans le bâti SE 112.

Description

■ **conditions d'équilibre d'une échelle et réactions d'appui d'une échelle inclinée contre un mur**

En mécanique appliquée, le principe de la "coupure" ou principe de la "coupe", permet de visualiser les forces et moments qui s'exercent sur un corps. Pour ce faire, on coupe virtuellement un corps ou un système, une barre par exemple, de son environnement. Toutes les forces agissant sur le corps ou le système sont remplacées de manière uniforme par des symboles. On obtient ainsi un modèle simplifié du corps ou du système sur lequel on peut identifier et lire les rapports entre forces et moments.

L'essai du SE 110.53 est un exemple d'application des conditions d'équilibre de la statique, en particulier du principe important de la coupure.

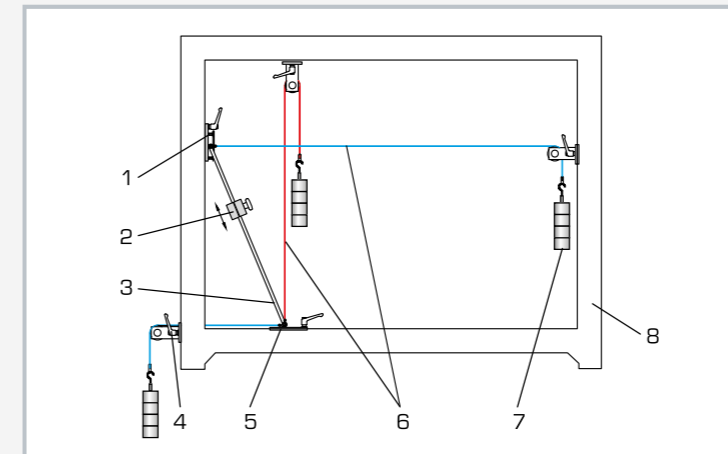
L'élément principal de l'essai est le modèle d'une échelle avec un poids de charge mobile. Le palier supérieur est un palier libre, tandis que le palier inférieur est un palier fixe. Les réactions d'appui agissant réellement peuvent être complètement compensées en appliquant des forces du câble dans les directions X et Y.

L'échelle se trouve en état d'équilibre sans modifier la position angulaire, et sans devoir utiliser des appuis de montage. L'échelle est "libre". Il s'agit pour les étudiants d'un exemple probant du principe de la coupure en statique.

Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- conceptualisation expérimentale du principe important de la coupure en statique
- calcul des réactions d'appui pour une position donnée du poids de charge et pour un angle d'attaque connu
- application de la 1^{re} et de la 2^e conditions d'équilibre de la statique
- compensation complète des réactions d'appui par les forces du câble
- influence de la position du poids de charge sur les réactions d'appui
- influence de l'angle d'attaque sur les réactions d'appui



1 appui (palier libre), 2 poids de charge mobile, 3 échelle, 4 poulie de renvoi pouvant être serrée, 5 appui (palier de butée), 6 câble, 7 poids, 8 bâti SE 112

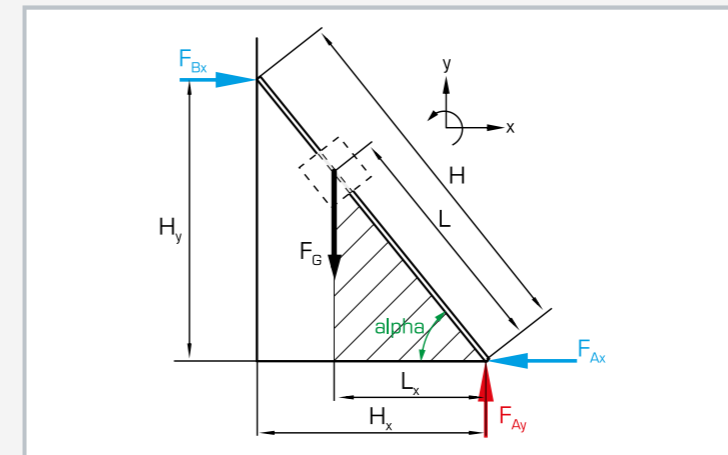
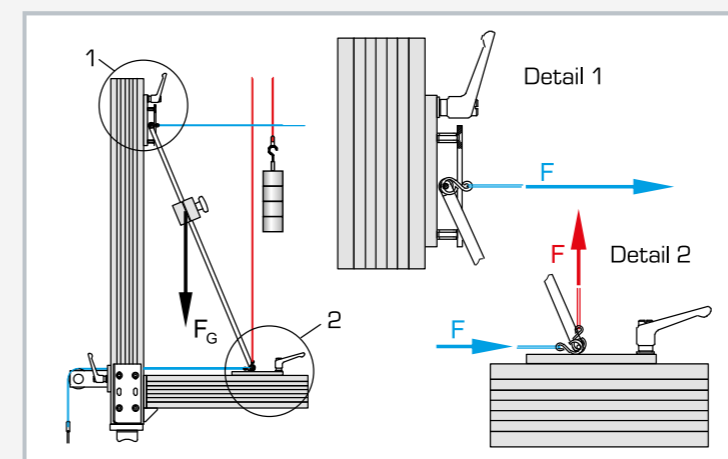


Diagramme du corps libre de l'échelle en appui:
rouge: réaction d'appui verticale, bleu: réaction d'appui horizontale, noir: force appliquée



1 palier libre, 2 palier de butée; F_G force appliquée;
rouge: câble avec poids, compense la réaction d'appui verticale
bleu: câbles avec poids, compensent les réactions d'appui horizontales

Spécification

- [1] élaboration du principe statique de la coupe
- [2] compensation complète des réactions d'appui par les forces du câble
- [3] poids de charge mobile
- [4] détermination de la position du poids de charge à l'aide d'une règle graduée en acier avec échelle millimétrique
- [5] 2 appuis (1x palier fixe, 1x palier libre)
- [6] 3 poulies de renvoi
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques**Échelle**

- longueur: 650mm
- poids: 2N
- échelle intégrée, graduation: 1 mm

Poids de charge: 20N

Poids

- 3x 1N (suspende)
- 9x 5N
- 12x 1N

Appuis

- 2, fixable sur le bâti de montage

Règle graduée en acier

- longueur: 1000mm, graduation: 1 mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 28kg (total)

Liste de livraison

- 1 modèle d'une échelle
- 2 appuis
- 3 poulies de renvoi
- 1 jeu de poids
- 1 poids de charge
- 3 câbles
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 121

Équilibre des moments sur des poulies



Contenu didactique/essais

- principes de base de l'équilibre des moments: forces d'attaque, moments générés et équilibre
- action des forces en fonction du diamètre de la poulie

Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments de deux poulies
- [2] poulies en aluminium anodisé
- [3] arbre en acier monté sur roulement à billes
- [4] système de rangement pour les pièces
- [5] support pour montage mural

Caractéristiques techniques

Poulies

- $\varnothing=75\text{mm}$
- $\varnothing=150\text{mm}$

Poids

- 2x 1N suspente
- 4x 0,5N
- 4x 1N
- 4x 2N
- 4x 5N

Plaque de base, lxxh: 200x250mm

Lxhx: 250x200x250mm

Poids: env. 13kg

Lxhx: 290x140x130mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 câbles
- 1 documentation didactique

Description

■ visualisation explicite de l'équilibre des moments

L'appareil d'essai TM 121 montre de manière expérimentale et explicite les lois d'équilibrage des moments de systèmes statiques. Les rapports entre le diamètre de la poulie, le moment et la force périphérique sont démontrés.

Deux poulies de diamètres différents sont fixées sur un arbre en acier monté sur des roulements à billes. Des poids peuvent être accrochés aux câbles.

Cela permet de visualiser différents cas de charge agissant sur deux poulies de diamètres différents. On peut faire varier les forces à l'aide des poids jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur. Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.

TM 122

Équilibre des moments sur une poulie différentielle



Contenu didactique/essais

- principes de base de l'équilibre des moments: forces d'attaque, moments générés et équilibre
- rapport entre réduction des forces et trajet du câble

Spécification

- [1] étude de l'équilibre des moments sur une poulie différentielle
- [2] poulies en aluminium anodisé
- [3] 1 poulie libre
- [4] arbre en acier sur roulement à billes
- [5] support pour montage mural

Caractéristiques techniques

Poulies

- $\varnothing=250\text{mm}$
- $\varnothing=100\text{mm}$
- $\varnothing=50\text{mm}$

Poulie libre

- $\varnothing=75\text{mm}$

Poids

- 2x 1N (suspente)
- 4x 0,5N
- 4x 1N
- 4x 2N
- 4x 5N

Plaque de base, lxxh: 300x250mm

Lxhx: 300x280x250mm

Poids: 14kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 câbles
- 1 documentation didactique

Description

■ démonstration de la réduction des forces sur une poulie différentielle

L'appareil d'essai TM 122 illustre parfaitement les conditions d'équilibre d'une poulie différentielle. Le rapport entre le diamètre de la poulie, la force de levage et le couple est démontré.

Trois poulies de diamètres différents sont fixées sur un arbre monté sur des roulements à billes. Des poids peuvent être suspendus au câble.

Les forces agissent d'une part directement sur la périphérie de la poulie ayant le plus grand diamètre, et d'autre part sur les poulies ayant un diamètre plus petit, par l'intermédiaire d'une poulie libre. À l'aide des poids, on peut faire varier les forces jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

L'appareil d'essai est conçu pour être monté au mur.

Connaissances de base

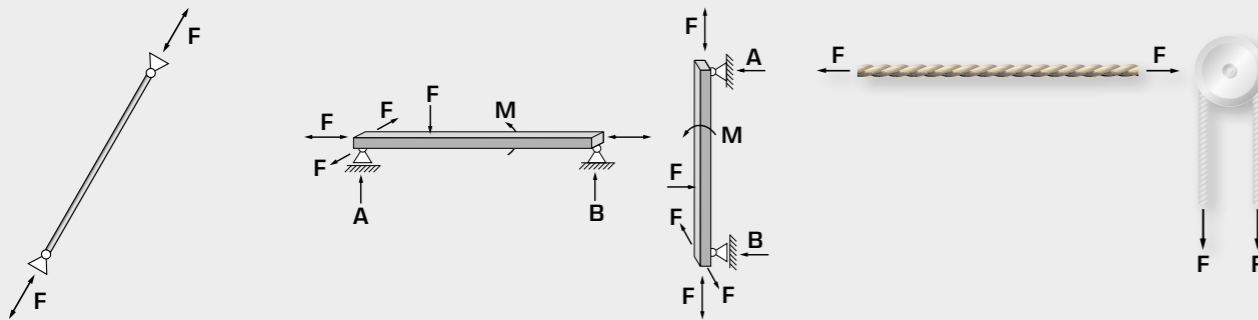
Réactions internes et principe de coupe
sur des barres, poutres et câbles

Les structures porteuses sont constituées de différents éléments de structure. On distingue les éléments de structure unidimensionnels (barre, poutre), bidimensionnels (plaque, disque) ou tridimensionnels (éléments de structure en trois dimensions).

Pour étudier les réactions internes dans des composants ou des systèmes mécaniques, on les réduit à leurs propriétés essentielles en créant des modèles. L'idéalisation géométrique permet alors d'éliminer les dimensions qui ne s'avèrent pas

importantes. Au lieu des éléments porteurs tridimensionnels, on observe des éléments porteurs bidimensionnels/porteurs plans (plaques, disques, plateaux) et unidimensionnels/porteurs linéaires (poutres, barres, arcs, câbles). Ce chapitre traite des éléments de structure unidimensionnels.

Éléments de structure unidimensionnels



Barre : élément porteur articulé des deux côtés, qui peut transmettre les forces de traction et de compression le long de son axe. Selon que la barre transmet des forces de traction ou de compression, on l'appelle barre de traction ou barre de compression.

Poutre : élément porteur linéaire qui peut transmettre des forces le long de son axe, perpendiculairement à cet axe, ainsi que transmettre des moments. Les éléments en position horizontale sont en général appelés poutres, tandis que les éléments orientés à la verticale sont appelés tubulures.

Câble : élément porteur qui ne peut transmettre que des forces de traction. Un câble fixé en deux points définis correspond à une barre de traction.

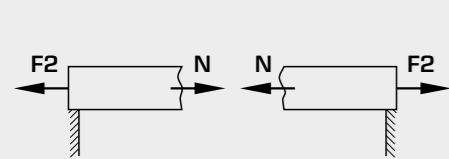
F forces, M moments de flexion, A, B réactions d'appui

Efforts de coupe

Des coupes fictives permettent d'éliminer des parties de la structure porteuse qui se trouve en équilibre. Afin de préserver l'équilibre, on reporte dans les surfaces de coupe les réactions internes également dénommées réactions de coupe ou

efforts de coupe. En statique, les réactions internes montrent la manière dont les forces et moments internes à un composant réagissent à l'application de forces externes.

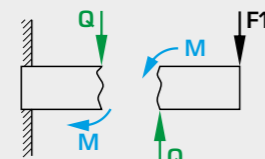
Force normale



La direction de la **force normale** correspond à celle de l'axe de la poutre. Cette force a pour effet de modifier la longueur de la poutre, et constitue la réaction interne aux forces de traction et de compression qui s'exercent sur la poutre depuis l'extérieur.

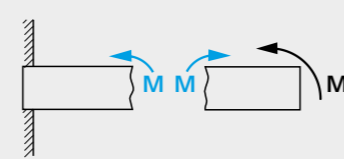
F1 force de compression, F2 force de traction, M moment de flexion, N force normale, Q effort tranchant

Effort tranchant



L'**effort tranchant** a une direction perpendiculaire à celle de la force normale. Cette force engendre une déformation de cisaillement, et constitue la réaction interne à la poutre aux forces de poussée exercées.

Moment de flexion



Le **moment de flexion** se déplace autour du centre de gravité de la surface de coupe. Ce moment entraîne un fléchissement de la poutre, en réaction aux forces de traction et de compression qui s'exercent sur la poutre depuis l'extérieur.

La **coupe** est le principe de base essentiel lorsqu'il s'agit de représenter les états de forces internes de barres, poutres et câbles. En particulier pour les structures de type poutres, la coupe est utilisée pour caractériser l'état de charge interne, et sert donc au dimensionnement de la poutre. Observer les efforts de coupe permet de se préparer au calcul des défor-

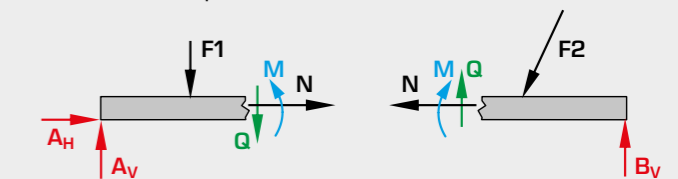
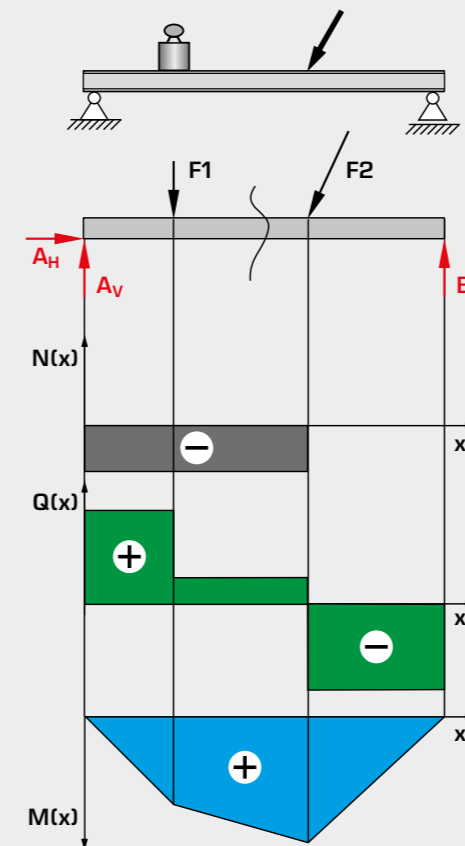
mations et à l'étude de la force portante dans le domaine de la résistance des matériaux. Dans le cadre d'une conception optimale des composants, le constructeur se sert des efforts tranchants pour décider des dimensions requises ou du type de répartition de la charge nécessaire.

Réactions internes

1. Le corps, ou le système mécanique, à étudier est isolé de son environnement par le **principe de la coupure** ou **principe de la coupe**.

2. On définit toutes les forces qui s'exercent sur le corps ou le système. En particulier aux endroits où le corps, ou le système mécanique, observé est séparé des corps avoisinants. Étant donné que les efforts de coupe diffèrent d'une coupe transversale à une autre, on trace leur courbe sur un graphique afin d'obtenir une meilleure vue d'ensemble. L'effort tranchant, la force normale et le moment de flexion y sont représentés sous la forme de surfaces.

3. Les forces inconnues sont calculées à l'aide des conditions d'équilibre.



Structure porteuse

Efforts de coupe pour une poutre

N force normale, Q effort tranchant, M moment de flexion, F forces externes, A, B réactions d'appui

Condition d'équilibre

Un corps, ou un système mécanique, se trouve en équilibre lorsque les effets de toutes les forces et moments s'exerçant sur lui s'annulent.

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$

WP 960

Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



Description

- application de la méthode des sections pour déterminer les réactions internes de la poutre
- affichage direct de l'effort tranchant et du moment de flexion au niveau d'un point d'intersection de la poutre

La statique étudie l'effet des forces sur un corps rigide et, en l'occurrence, elle ne prend pas en compte les déformations possibles. Dans ce cas, les forces créent l'équilibre du système.

Un exemple simple est celui d'une poutre montée de manière isostatique qui est soumise à des charges ponctuelles. Les réactions d'appui sont déterminées à partir des conditions d'équilibre. Afin d'étudier l'effet des charges ponctuelles dans la poutre, celle-ci est divisée virtuellement en deux sections. Les forces et moments internes sont appliqués à ces sections selon la méthode des sections et calculés à partir des conditions d'équilibre.

Le WP 960 comporte une poutre sur deux supports. La poutre est coupée à un endroit où se situe une articulation à faible frottement avec deux degrés de liberté. Deux dynamomètres à cadran servent à déterminer les réactions internes au niveau du point d'intersection

par rapport aux forces appliquées de l'extérieur.

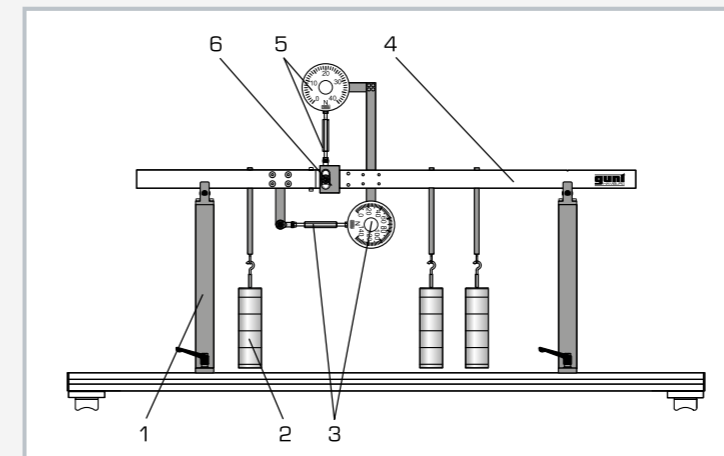
L'effort tranchant est directement enregistré et affiché par un dynamomètre à cadran. Le moment de flexion apparaissant au niveau du point d'intersection est enregistré par un deuxième dynamomètre à cadran qui agit au niveau d'un bras de levier fixe. La valeur de cet affichage de la force divisée par 10 et donne le moment de flexion en Nm. Les écrous de réglage au niveau des deux dynamomètres à cadran servent à aligner la poutre horizontalement et à compenser les dénivellations.

Lors de l'interprétation de l'essai, il apparaît clairement que l'effort tranchant, comparé au moment de flexion, peut le plus souvent ne pas être pris en compte lors du dimensionnement des éléments de construction.

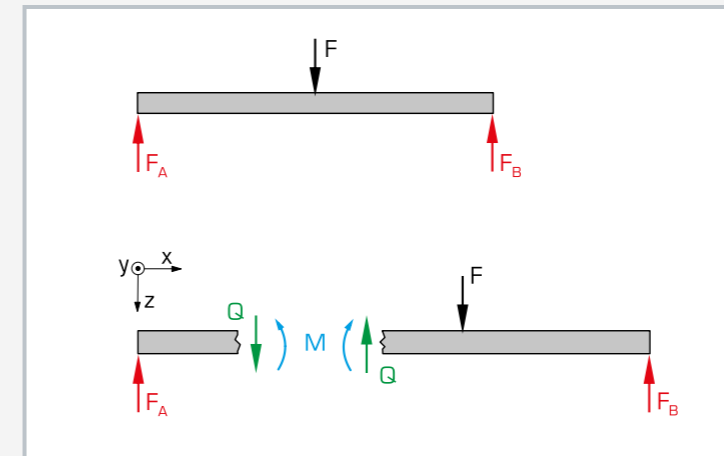
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté sur un bâti.

Contenu didactique/essais

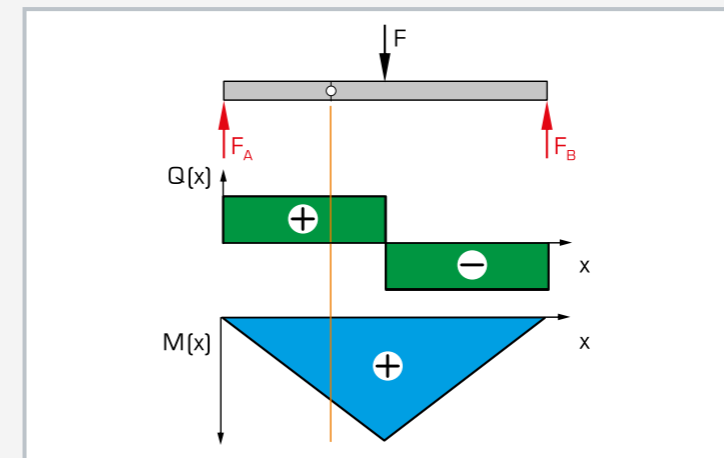
- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les forces et moments internes
 - ▶ avec une charge ponctuelle
 - ▶ avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des efforts tranchants
- calcul de la courbe des moments de flexion
- comparaison des valeurs calculées et mesurées pour l'effort tranchant et le moment de flexion



1 support, 2 poids, 3 dynamomètre à cadran avec écrou de réglage pour déterminer le moment de flexion, 4 poutre, 5 dynamomètre à cadran avec écrou de réglage (effort tranchant), 6 articulation avec 2 degrés de liberté



Efforts de coupe au niveau de la poutre avec charge ponctuelle centrale:
F charge ponctuelle appliquée, F_A , F_B réactions d'appui ($0,5F$), Q effort tranchant, M moment de flexion



Courbe des efforts tranchants et courbe des moments de flexion au niveau de la poutre avec charge ponctuelle centrale: ligne (orange): position de l'articulation à laquelle les forces internes de la poutre apparaissent

Spécification

- [1] détermination de l'effort tranchant et du moment de flexion au niveau de la poutre sur 2 supports
- [2] enregistrement de l'effort tranchant et du moment de flexion dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 2 degrés de liberté
- [3] position de l'articulation à une portée de 1/3
- [4] 2 supports
- [5] chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- [6] dynamomètre à cadran pour afficher l'effort tranchant et déterminer le moment de flexion
- [7] moment de flexion déterminé par le dynamomètre à cadran et le bras de levier
- [8] écrous de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- [9] règle graduée en acier pour déterminer la position des charges ponctuelles
- [10] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poutre

- longueur totale: 1000mm
- portée: 800mm

Poids

- 3x 1N (suspentes)
- 12x 1N
- 9x 5N
- poids max. par suspente: 20N

Plages de mesure

- moment de flexion via le dynamomètre à cadran et le bras de levier
 - ▶ bras de levier: 100mm
 - ▶ dynamomètre à cadran: $\pm 100N$
 - ▶ moment de flexion: $\pm Nm$
- effort tranchant: $\pm 50N$
- règle graduée en acier: 1000mm, graduation: 1mm

Lxlh: 1400x320x600mm

Poids: env. 35kg

Lxlh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

WP 961**Poutre sur 2 supports: courbe des efforts tranchants****Contenu didactique/essais**

- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les forces internes
 - ▶ avec une charge ponctuelle
 - ▶ avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des efforts tranchants
- comparaison des valeurs calculées et mesurées de l'effort tranchant

Spécification

- [1] étude de l'effort tranchant au niveau de la poutre sur 2 supports
- [2] enregistrement de l'effort tranchant dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 1 degré de liberté
- [3] position de l'articulation à une portée de 1/3
- [4] 2 supports
- [5] chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- [6] dynamomètre à cadran pour afficher l'effort tranchant
- [7] écrou de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

- Poutre
- longueur totale: 1000mm
 - portée: 800mm

Plage de mesure de l'effort tranchant: $\pm 50\text{N}$

- Poids
- 3x 1N (suspentes), 12x 1N, 9x 5N
 - poids max. par suspente: 20N

Lxlxh: 1400x320x600mm
Poids: env. 35kg
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Description

■ **application de la méthode des sections pour déterminer l'effort tranchant**

Le WP 961 se compose d'une poutre sur deux supports qui est soumise à des charges ponctuelles. La poutre est coupée à un endroit où se situe une articulation à faible frottement avec un degré de liberté. Le dynamomètre à cadran indique la réaction interne (effort tranchant) à cet endroit de la poutre. Un écrou de réglage au niveau du dynamomètre à cadran sert à aligner la poutre horizontalement et à compenser les dénivellations.

Les réactions d'appui sont déterminées à partir des conditions d'équilibre de la statique. Afin d'étudier l'effet des charges ponctuelles dans la poutre, celle-ci est divisée virtuellement en deux sections. Les forces et moments internes sont appliqués à ces sections selon la méthode des sections et calculés via les conditions d'équilibre.

WP 962**Poutre sur 2 supports: courbe des moments de flexion****Contenu didactique/essais**

- calcul des réactions d'appui à partir des conditions d'équilibre de la statique
- application de la méthode des sections pour calculer les moments internes
 - ▶ avec une charge ponctuelle
 - ▶ avec plusieurs charges ponctuelles
- calcul de la courbe des moments de flexion
- comparaison des valeurs calculées et mesurées du moment de flexion

Spécification

- [1] étude du moment de flexion au niveau de la poutre sur 2 supports
- [2] affiche le moment de flexion dans la poutre via l'articulation à faible frottement avec 1 degré de liberté
- [3] position de l'articulation à une portée de 1/3
- [4] 2 supports
- [5] chargement de la poutre à l'aide de 1 à 3 charges ponctuelles
- [6] dynamomètre à cadran et bras de levier pour afficher le moment de flexion
- [7] écrou de réglage pour l'alignement horizontal de la poutre
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

- Poutre
- longueur totale: 1000mm
 - portée: 800mm

Plage de mesure
■ moment de flexion : $\pm 10\text{Nm}$

- Poids
- 3x 1N (suspentes), 12x 1N, 9x 5N
 - poids max. par suspente: 20N

Lxlxh: 1400x320x600mm
Poids: env. 35kg
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 règle graduée en acier
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Description

■ **application de la méthode des sections pour déterminer le moment de flexion**

Le WP 962 se compose d'une poutre sur deux supports qui est soumise à des charges ponctuelles. La poutre est coupée à un endroit, où se situe une articulation à faible frottement avec un degré de liberté. Le moment de flexion apparaissant au niveau du point d'intersection est enregistré par un dynamomètre à cadran qui agit au niveau d'un bras de levier fixe. Un écrou de réglage au niveau du dynamomètre à cadran sert à aligner la poutre horizontalement et à compenser les dénivellations.

Les réactions d'appui sont déterminées à partir des conditions d'équilibre de la statique. Afin d'étudier l'effet des charges ponctuelles dans la poutre, celle-ci est divisée virtuellement en deux sections. Les forces et moments internes sont appliqués à ces sections selon la méthode des sections et calculés via les conditions d'équilibre.

SE 110.50**Câble soumis au poids propre**

L'illustration montre le SE 110.50 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

■ **ligne de chaînette suspendu librement soumis au poids propre**

Les câbles suspendus librement, par ex. des haubans, sont souvent utilisés pour soutenir une structure. Dans les ponts suspendus, ils constituent l'élément porteur de la construction. L'influence du poids propre du câble peut ne pas être prise en compte dans de nombreux calculs parce qu'elle est minime par rapport aux autres charges. Par contre, dans le cas des lignes électriques aériennes, le poids propre du câble joue un rôle dans la conception des pylônes.

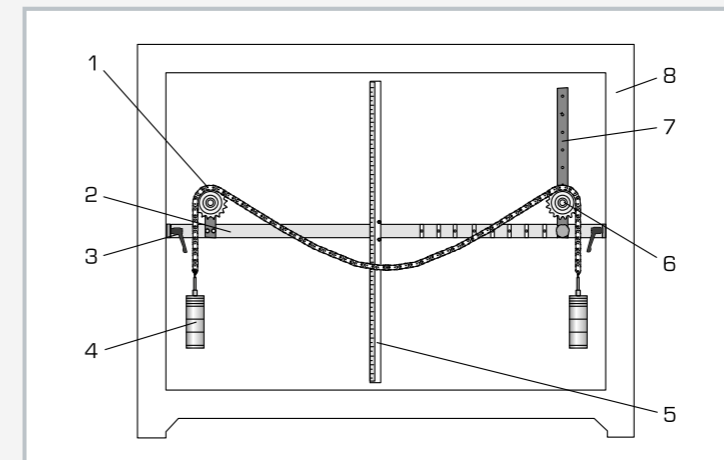
Le SE 110.50 étudie un câble suspendu librement sous l'influence de son poids propre. Une chaîne à rouleaux sert de câble et est posée sur deux roues à chaîne montées sur roulement à billes. Les supports des roues à chaîne sont fixés à une traverse. L'entraxe entre les roues à chaîne peut être réglé horizontalement et verticalement.

Les deux extrémités de la chaîne peuvent être chargées de poids. La courbure maximale est mesurée à l'aide de règles graduées et peut être comparée aux valeurs calculées. La courbure est la distance entre la ligne de jonction des appuis et la ligne de chaînette (voir aussi la figure "Forces portantes du câble agissant réellement" à la page suivante).

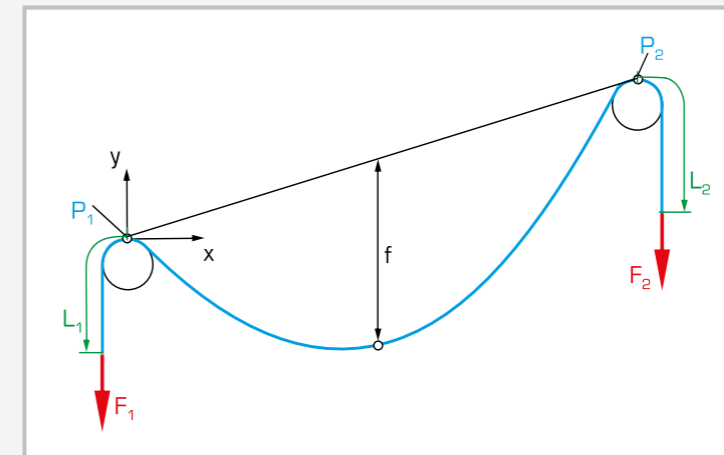
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- détermination de la ligne de chaînette d'un câble suspendu librement
 - ▶ uniquement soumis au poids propre
 - ▶ avec des charges supplémentaires
 - ▶ pour montage symétrique (roues à chaîne à la même hauteur)
 - ▶ pour montage asymétrique
- mesure de la courbure
- comparaison des valeurs calculées et des valeurs mesurées



1 chaîne à rouleaux, 2 traverse avec graduation, 3 élément de serrage, 4 poids, 5 règle graduée, 6 roue à chaîne, 7 support pour la roue à chaîne, 8 bâti SE 112



Forces portantes du câble agissant réellement: $F_1 + F_2$ forces, $L_1 + L_2$ longueur de chaîne pendante avec poids propre, $P_1 + P_2$ point de repère sur la roue à chaîne, f courbure



Câbles suspendus librement dans la réalité (portique d'ancrage):
1 hauban, 2 ligne de courant semblable à la ligne électrique aérienne

Spécification

- [1] détermination de la ligne d'une chaînette suspendu librement
- [2] montage expérimental symétrique et asymétrique possible
- [3] chaîne à rouleaux comme câble avec 2 roues à chaîne montées sur roulement à billes
- [4] entraxe des roues à chaîne réglable
- [5] hauteur d'une roue à chaîne réglable pour le montage expérimental asymétrique
- [6] traverse avec graduation pour maintenir les roues à chaîne et la règle graduée pour la courbure verticale de la chaîne
- [7] 2 suspentes pour charger les deux extrémités de la chaîne
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Chaîne à rouleaux
 ■ DIN 8187
 ■ longueur: 2400mm
 ■ poids: 0,95kg/m

Roue à chaîne, nombre de dents: 17

Traverse
 ■ entraxe: 600...1000mm
 ■ écart entre les rainures: 50mm

Support
 ■ hauteur réglable de la roue à chaîne: 0...300mm
 ■ écart entre les orifices: 50mm

Poids
 ■ 2x 1N (suspentes)
 ■ 8x 1N
 ■ 6x 5N

Plages de mesure
 ■ horizontal: 0...1000mm
 ■ vertical: 0...850mm
 ■ graduation: 1mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
 Poids: env. 29kg (total)

Liste de livraison

- 1 chaîne à rouleaux
- 1 traverse avec éléments de serrage
- 2 roues à chaîne avec supports
- 1 règle graduée
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Connaissances de base

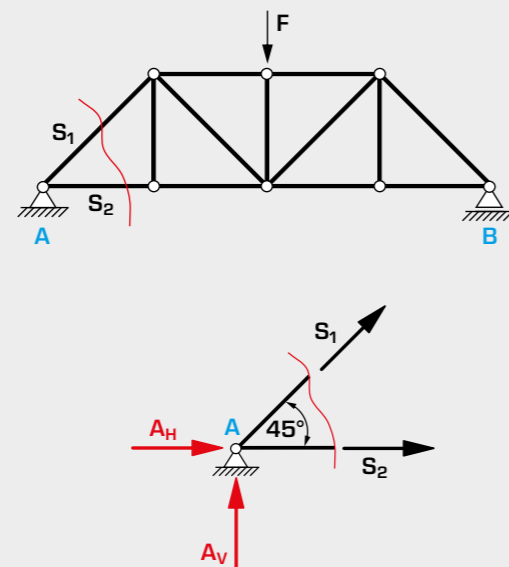
Méthode des sections pour les treillis plans

Les treillis plans sont des structures porteuses composées exclusivement de barres droites. Les barres sont reliées entre elles par ce que l'on appelle des nœuds. Pour déterminer les réactions d'appui ainsi que les forces et moments qui sont transmis dans les nœuds, on commence par émettre des hypothèses idéalisantes:

1. Les barres sont reliées de manière centrée et articulée au niveau des nœuds
2. Les forces externes s'exercent uniquement au niveau des nœuds.

Ces conditions pour l'obtention d'un treillis idéal permettent de s'assurer que toutes les barres sont sollicitées uniquement en traction et en compression. Différentes méthodes des sections sont utilisées pour calculer les réactions d'appui et les efforts dans la barre.

Méthode des nœuds



S efforts dans la barre, **A+B** réactions d'appui, **F** forces, **indice V** forces verticales, **indice H** forces horizontales

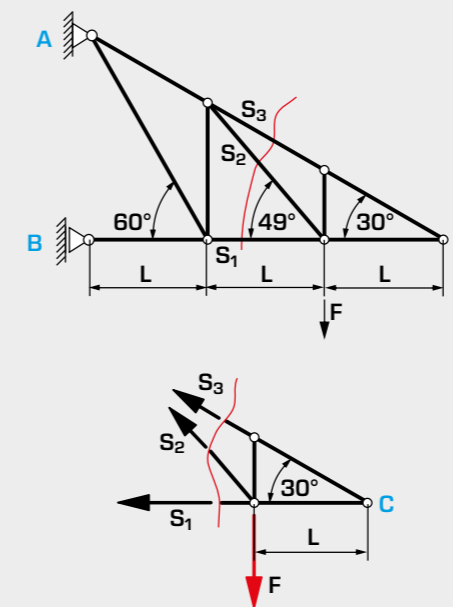
Avec la méthode des nœuds, on coupe tous les nœuds les uns après les autres. À chaque nœud, on établit les conditions d'équilibre. Pour pouvoir appliquer la méthode des nœuds, il faut que le nombre de forces inconnues qui s'exercent au niveau du nœud soit de deux maximum. Grâce à cette méthode, aucune des efforts dans la barre n'est oublié en cas de treillis complexes.

Condition d'équilibre

$$\sum F_V = 0 = A_V + S_1 \sin 45^\circ$$

$$\sum F_H = 0 = S_2 + S_1 \cos 45^\circ + A_H$$

Méthode des sections de Ritter



S efforts dans la barre, **A+B** réactions d'appui, **C** nœuds, **F** force, **L** longueur de barre, **S₂** effort dans la barre recherché

La méthode des sections de Ritter est utilisée lorsque l'on souhaite déterminer uniquement certaines efforts individuels dans la barre dans un treillis. Pour pouvoir appliquer la méthode des sections de Ritter, il faut que les réactions d'appui et les forces externes soient connues. La coupe passe par trois barres, dont deux sont reliées dans un nœud. Pour la condition d'équilibre des moments, il est judicieux de choisir comme point de référence le point d'intersection entre les deux efforts dans la barre. Cela permet de n'avoir plus qu'un effort dans la barre inconnu dans l'équation. L'avantage de cette méthode est de permettre un calcul des différents efforts dans la barre, sans avoir à considérer tous les nœuds.

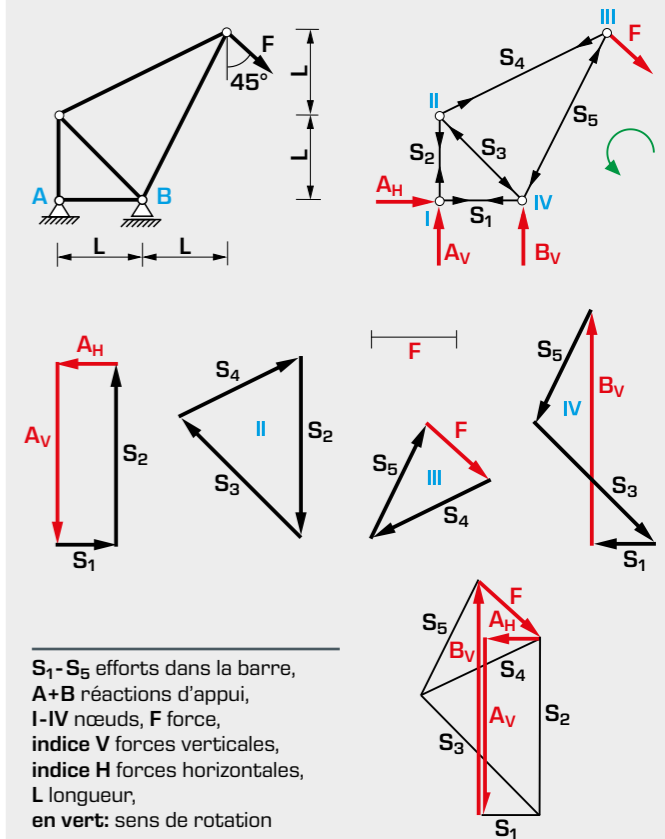
Condition d'équilibre

$$\sum F_V = 0 = -F + S_2 \sin 49^\circ + S_3 \sin 45^\circ$$

$$\sum F_H = 0 = -S_3 \cos 30^\circ - S_1 - S_2 \cos 49^\circ$$

$$\sum M_C = F \cdot L - S_2 \cdot \sin 49^\circ \cdot L = 0$$

Épure de Cremona (plan des forces)



S₁-S₅ efforts dans la barre,
A+B réactions d'appui,
I-IV nœuds, **F** force,
indice V forces verticales,
indice H forces horizontales,
L longueur,
en vert: sens de rotation

L'épure de Cremona est une **méthode graphique** de détermination des efforts dans la barre dans un treillis. Pour pouvoir appliquer l'épure de Cremona, il faut que les réactions d'appui et les forces externes soient connues, ou qu'elles aient été déterminées au préalable à l'aide de la méthode des nœuds. On dessine alors de manière systématique un plan des forces pour chaque nœud ayant une force connue et deux forces inconnues, et l'on inscrit la direction des forces dans tout le plan des forces du treillis. On se sert du triangle des forces pour mesurer les efforts dans la barre inconnus. Grâce à cette méthode, aucun des efforts dans la barre n'est oublié en cas de treillis complexes, et toutes les directions des forces sont reportées correctement.

SE 110.21**Forces dans différents treillis plans**

L'illustration montre le SE 110.21 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan
- montage des différentes formes de treillis
- barres avec technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre

Comme construction légère avec rigidité élevée, les treillis trouvent principalement leur application dans la construction de halles, de ponts, de grue et de pylône. Un treillis est un assemblage de barres formant une triangulation où certaines parties de l'assemblage sont mises en compression et d'autres parties en tension, mais pas à la flexion.

L'objectif de cet essai est de mesurer les efforts dans la barre d'un treillis plan qui est chargée d'une force unique extérieure. Le montage expérimental SE 110.21 comporte des barres équipées de fermetures encliquetées spéciales aux extrémités qui facilitent l'enclenchement dans le disque de jonction. L'assortiment de barres, de différentes longueurs, permet de monter trois formes de treillis isostatiques.

Les barres sont reliées "de manière articulée" à l'aide de disques de jonction et sont soumises uniquement à la compression ou la traction. Aucun moment n'est transmis dans les nœuds. Ceux-ci doivent être considérés comme étant sans frottement. Dès lors, nos treillis sont considérés comme des treillis idéals.

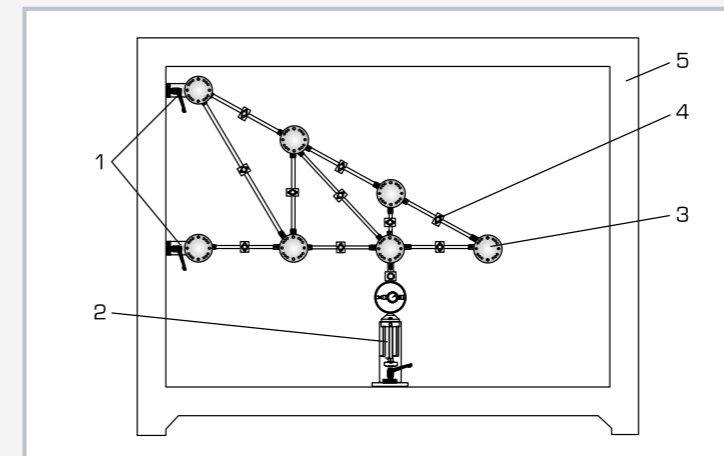
Un dispositif de charge placé au niveau d'un disque de jonction crée une force extérieure. Toutes les forces au niveau des barres du treillis sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte.

L'interprétation des valeurs de mesure s'effectue sur le PC via l'amplificateur de mesure FL 152 (16 voies d'entrée). Le logiciel dans FL 152 permet de gérer les données de mesure et de représenter graphiquement les efforts dans la barre. Le logiciel dispose d'une fonction d'aide étendue.

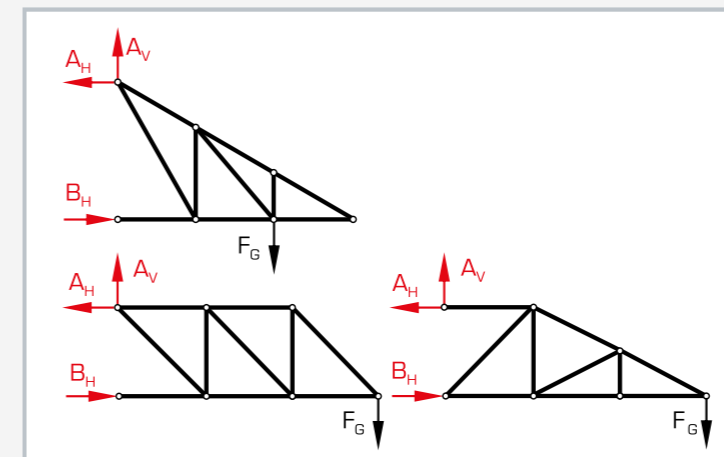
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

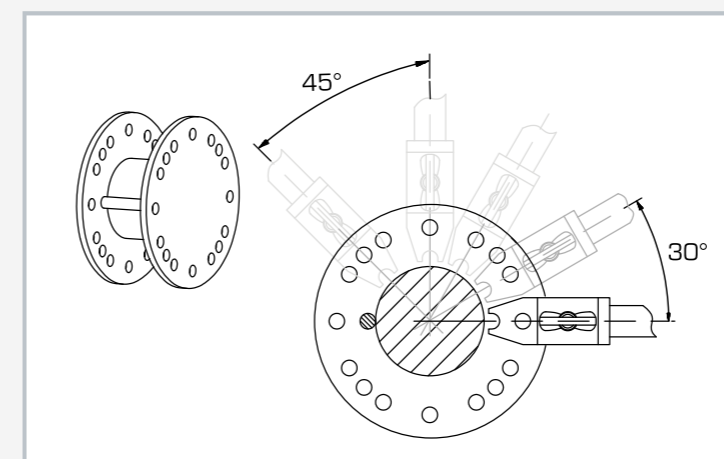
- mesure des efforts dans la barre dans différents treillis plans
- dépendance des efforts dans la barre de la force extérieure
 - ▶ intensité
 - ▶ direction
 - ▶ point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques
 - ▶ méthode des nœuds
 - ▶ méthode des sections de Ritter
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur jauge de contrainte



1 appui, 2 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 3 disque de jonction, 4 barre avec point de mesure, 5 bâti SE 112



3 formes de treillis:
rouge: réactions d'appui, noir: force extérieure



Fixation des barres dans le disque de jonction

Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans un treillis isostatique
- [2] montage possible de différents treillis
- [3] 2 appuis avec disques de jonction
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté au niveau des différents disques de jonction
- [5] points de mesure pour mesurer la force au niveau de chaque barre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [7] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

- Barres: 19
- 2 barres de 150mm
 - 5 barres de 259mm
 - 7 barres de 300mm
 - 1 barre de 397mm
 - 3 barres de 424mm
 - 1 barre de 520mm
 - angles entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
 - effort dans la barre maximal: 500N
 - points de mesure au niveau de chaque barre
 - hauteur du treillis: max. 450mm
 - longueur du treillis: max. 900mm

Dispositif de charge

- ±500N
- graduation: 10N

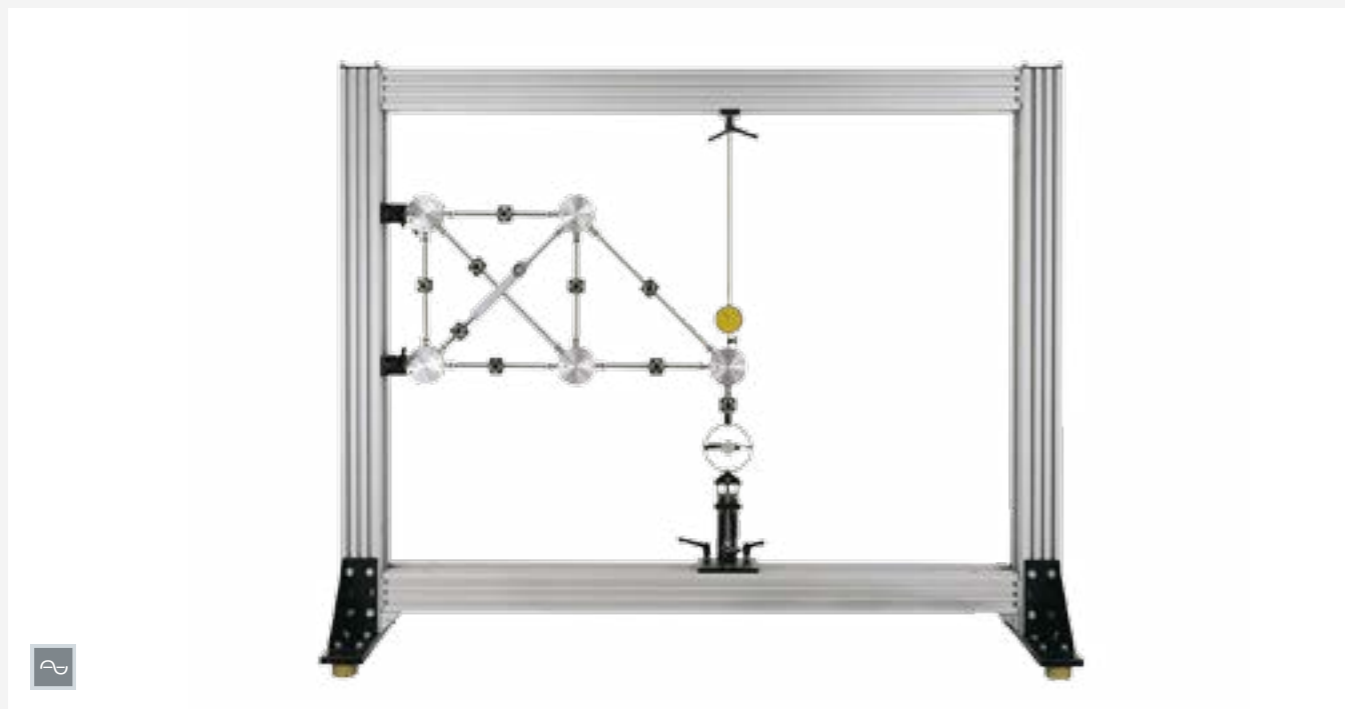
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 26kg (total)

Liste de livraison

- 1 jeu de barres
- 5 disques de jonction
- 2 appuis avec disque de jonction
- 1 dispositif de charge
- 1 jeu de câbles
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.22

Forces dans un treillis hyperstatique



L'illustration montre le SE 110.22 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- comparaison des forces dans le cas de treillis isostatiques et hyperstatiques
- barres avec ponts intégraux pour technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre

En ajoutant des barres supplémentaires, un treillis isostatique devient intérieurement hyperstatique. Dans ce cas, il porte le nom de treillis hyperstatique. Dans un treillis hyperstatique, les efforts dans la barre dépendent des propriétés élastiques du treillis et ils ne sont pas calculés facilement.

Le montage expérimental SE 110.22 permet d'étudier les treillis isostatiques et hyperstatiques et de les comparer.

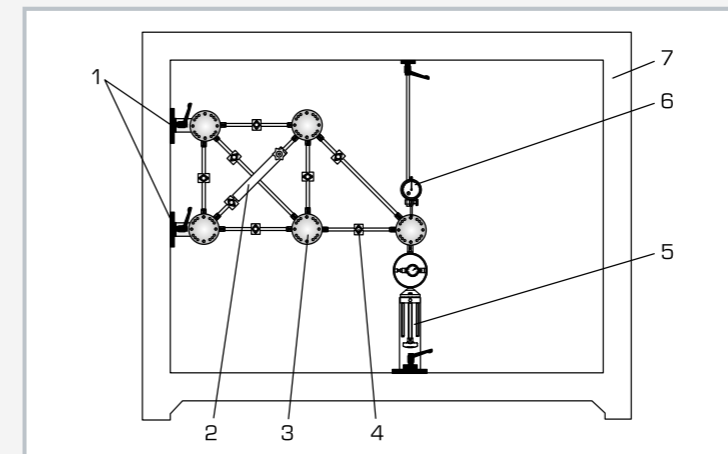
A l'aide des barres et des disques de jonction, un treillis isostatique plan est d'abord monté. Le montage d'une barre supplémentaire permet de créer un treillis hyperstatique. Un dispositif de charge permet d'appliquer des forces droites ou obliques sur le treillis et de simuler, de cette manière, différentes conditions de charge. Les forces de traction et de compression apparaissant dans les barres sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte.

L'interprétation des valeurs de mesure sur le PC s'effectue via l'amplificateur de mesure FL 152. Le logiciel dans FL 152 permet de gérer les données de mesure et de représenter graphiquement les efforts dans la barre. Le logiciel dispose d'une fonction d'aide étendue.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- mesure des efforts dans la barre dans un treillis isostatique et un treillis hyperstatique plan
- répartition des forces dans un treillis plan en fonction de l'utilisation d'une barre supplémentaire
- dépendance des efforts dans la barre par rapport à la force extérieure
 - ▶ intensité, direction, point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques
 - ▶ méthode des nœuds
 - ▶ méthode des sections de Ritter
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte



1 appui, 2 barre supplémentaire (réglable), 3 disque de jonction, 4 barre avec point de mesure, 5 dispositif de charge, 6 comparateur à cadran avec fixation, 7 bâti SE 112

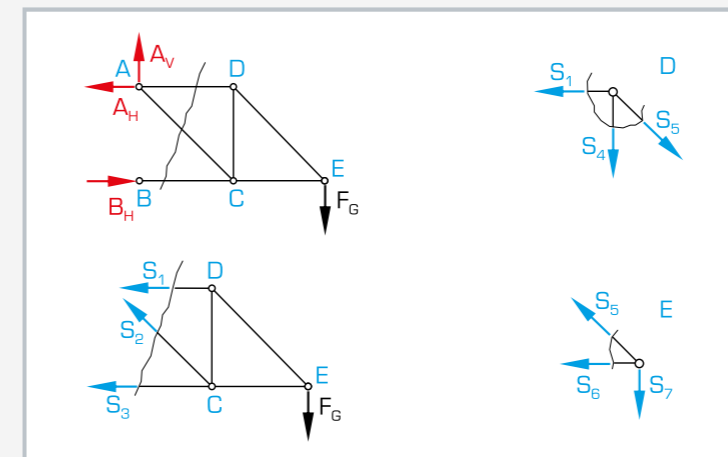
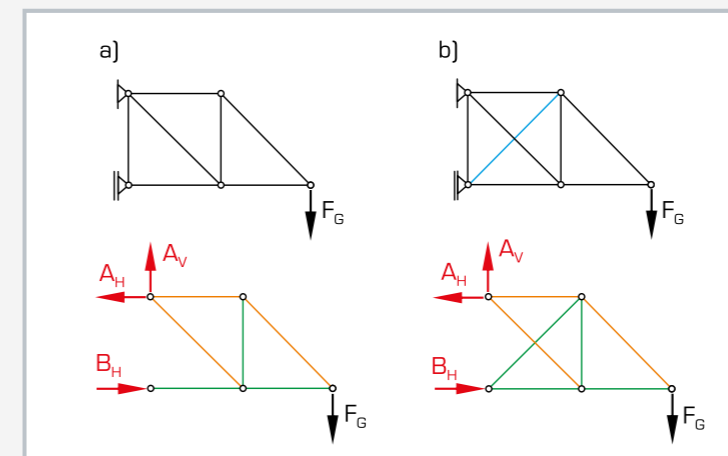


Diagramme du corps libre du treillis, méthode des section de Ritter
A, B, C, D, E: nœuds, noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui, bleu S_1 à S_7 : efforts dans la barre



a) treillis isostatique, b) treillis hyperstatique;
rouge: réactions d'appui, noir: force appliquée, bleu: barre supplémentaire, vert: barres de compression, orange: barres de traction

Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans les treillis hyperstatiques
- [2] barre supplémentaire, réglable en longueur
- [3] charges droites et obliques possibles
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté au niveau des différents disques de jonction
- [5] point de mesure pour mesurer la force au niveau de chaque barre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [7] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Barres: 8

- 5 barres fixes de 300mm
- 2 barres fixes de 424mm
- 1 barre réglable 400...450mm
- angle entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
- effort dans la barre maximal: 500N
- point de mesure au niveau de chaque barre
- hauteur du treillis: max. 270mm
- longueur du treillis: max. 500mm

Dispositif de charge

- $\pm 500N$
- graduation: 10N

Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...20mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 22kg (total)

Liste de livraison

- 1 jeu de barres
- 5 disques de jonction
- 1 dispositif de charge
- 1 comparateur à cadran
- 1 jeu de câbles
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 130

Forces dans un treillis type Howe



Description

- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan, type Howe
- mesure des efforts dans la barre à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte
- la charge extérieure peut être appliquée sous différents angles d'application

Comme construction légère avec rigidité élevée, les treillis trouvent principalement leur application dans la construction de halles, de ponts, de grue et de pylône. Un treillis est un assemblage de barres formant une triangulation où certaines parties de l'assemblage sont mises en compression et d'autres parties en tension, mais pas à la flexion.

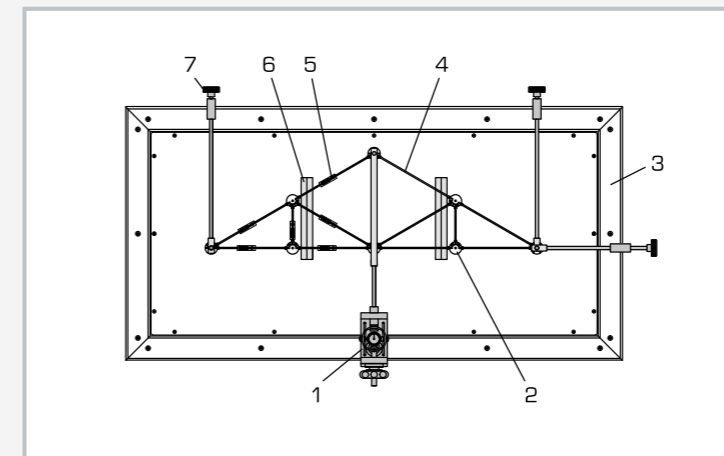
Le montage SE 130 permet d'effectuer des essais sur treillis plans avec une bonne précision de mesure et une représentation claire des résultats à l'aide du logiciel. Le treillis monté est posé horizontalement sur le bâti. Le raccordement des barres est "articulé" à l'aide de disques de jonction. Dès lors, notre treillis peut être considéré comme idéal. La création de la force extérieure s'effectue à l'aide d'une vis filetée. L'application de la force peut s'effectuer dans diverses directions et à différents endroits.

Les forces créées au niveau des barres du treillis sont enregistrées à l'aide de technique de mesure basée sur la jauge de contrainte. Tous les points de mesure sont regroupés dans un boîtier de raccordement. Le raccordement à l'amplificateur de mesure FL 152 s'effectue à partir de ce boîtier. Le logiciel permet de gérer les données de mesure et de représenter graphiquement les efforts dans la barre. Le logiciel dispose d'une fonction d'aide étendue.

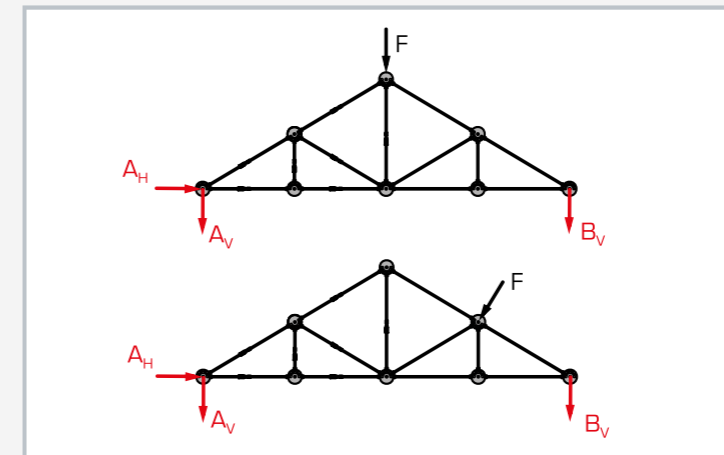
Un treillis supplémentaire est disponible pour l'extension du programme d'essai (élément disponible: SE 130.01, type Warren).

Contenu didactique/essais

- mesure des efforts dans la barre d'un treillis plan, type Howe
- dépendance des efforts dans la barre de la force extérieure
 - ▶ intensité, direction, point d'application
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques et graphiques
 - ▶ méthode des nœuds
 - ▶ méthode des sections de Ritter
 - ▶ épure de Cremona
- principe de base: mesure des forces à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte



1 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 2 disque de jonction, 3 bâti, 4 barre, 5 point de mesure au niveau de la barre, 6 support en arête de couteaux, 7 vis de réglage



Condition de charge haut: rapport de la poussée à la masse au niveau de la faite, condition de charge bas: charge de vent perpendiculaire à la surface du toit; noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui

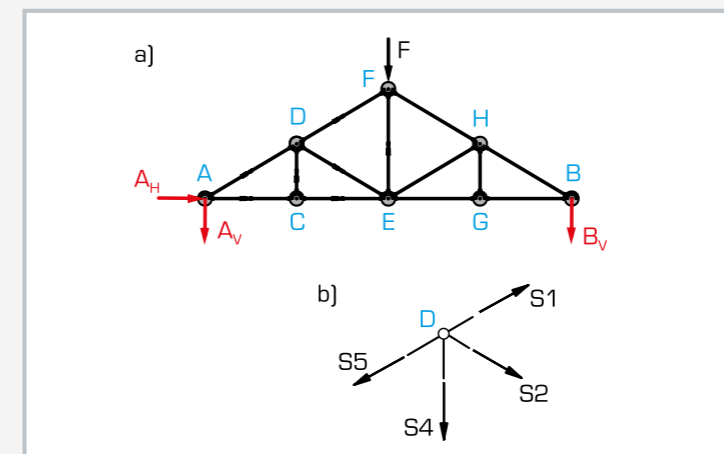


Diagramme du corps libre d'un treillis, méthode des nœuds
a) plan d'ensemble, noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui, bleu: nœuds; b) efforts dans la barre au niveau du nœud D

Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre d'un treillis plan iso-statique
- [2] treillis monté type Howe
- [3] bâti pour montage expérimental horizontal
- [4] influence de son propre poids minimisée par arrangement expérience horizontale
- [5] possibilité d'utiliser au choix des charges droites et obliques
- [6] réglage fin de la force de charge
- [7] support en arête de couteaux à faible frottement
- [8] 2 appuis pour les forces verticales, 1 appui pour les forces horizontales
- [9] boîtier de raccordement pour jauge de contrainte ajusté préalablement avec raccordement à l'amplificateur de mesure FL 152
- [10] amplificateur de mesure FL 152 nécessaire
- [11] logiciel GUNT dans FL 152 pour interpréter les valeurs de mesure graphique

Caractéristiques techniques

Treillis: type Howe

- section des barres: 10x3mm, acier inoxydable
- longueur de barre: 115,5, 200, 231mm
- charge extérieure: max. 500N
- barres: 13, dont 7 barres avec points de mesure

Dispositif de charge avec dynamomètre à cadran

- force de traction: max. 600N
- course: 30mm

Disques de jonction: 8

Angle entre barres: 30°, 45°

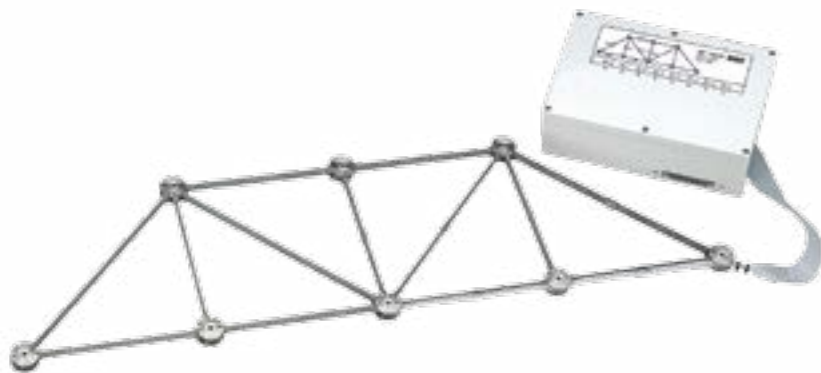
Lxlh: 1220x620x250mm (bâti)

Lxlh: 850x265x15mm (treillis type Howe)

Poids: env. 43kg

Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 treillis type Howe
- 1 dispositif de charge
- 1 boîtier de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 câble plat
- 1 documentation didactique

SE 130.01**Poutre à treillis: type Warren****Description**

- treillis monté, type Warren
- barres avec technique de mesure basée sur la jauge de contrainte afin de mesurer l'effort dans la barre

La poutre à treillis de type Warren est souvent utilisée dans les constructions métalliques.

Les montages expérimentaux avec la poutre SE 130.01 sont disposés sur le bâti de l'appareil SE 130. Le montage mécanique du treillis garantit que seules des forces de traction ou de compression agissent dans les barres. Le raccordement des barres à l'aide des disques de jonction est "articulé". Dès lors, on peut parler d'un treillis idéal.

La mesure de la force dans les barres s'effectue à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte. En raison du montage symétrique, seule la moitié des barres est équipée de points de mesure. Tous les raccords pour jauge de contrainte sont regroupés dans le boîtier de raccordement pour jauge de contrainte.

Contenu didactique/essais

- calcul des forces de traction et de compression dans les barres dans différentes conditions de charge: forces droites et obliques
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de résolution mathématiques et graphiques
 - ▶ méthode des nœuds
 - ▶ méthode des sections de Ritter
 - ▶ épure de Cremona

Spécification

- [1] étude des efforts dans la barre dans un treillis plan isostatique
- [2] poutre à treillis montée de type Warren
- [3] influence du poids propre minimisée par le montage expérimental horizontal
- [4] possibilité d'utiliser au choix des charges droites et obliques
- [5] boîtier de raccordement pour jauge de contrainte ajusté préalablement
- [6] le SE 130.01 est un jeu complémentaire pour l'appareil principal SE 130

Caractéristiques techniques

- Poutre à treillis: type Warren
- section des barres: 10x3mm, acier inoxydable
 - longueur de barre: 270mm, 186,5mm
 - force de traction: max. 500N
 - barres: 13, dont 7 barres avec points de mesure

Disques de jonction: 8

Lxlxh: env. 800x300x15mm

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 poutre à treillis: type Warren
- 1 boîtier de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 câble plat

Acquisition des données et visualisation



Évaluation et analyse optimisées des essais

Les logiciels GUNT sont toujours accompagnés d'un support en ligne important permettant d'en expliquer les fonctions et l'utilisation.

Les logiciels GUNT sont développés et suivis en interne par un groupe d'ingénieurs expérimentés.



SE 110.18

Forces au niveau d'un pont suspendu



L'illustration montre le SE 110.18 dans le bâti SE 112.

Description

- tablier rigide ou élastique pour le pont suspendu
- différentes conditions de charges possibles: charge ponctuelle ou linéaire
- ligne de chaînette d'un câble suspendu librement

Les ponts suspendus font partie des plus anciennes formes de construction de pont. L'élément porteur est un câble flexible. Puisque les câbles peuvent absorber des forces de traction élevées lorsque le poids propre est petit, les ponts suspendus peuvent être montés avec de grandes portées. Cela a permis de couvrir de plus grandes distances sans piliers de soutien, par ex. dans le cas des ravins. La courbure des câbles porteurs du pont suspendu est parabolique puisque les poids sont fixés aux câbles porteurs à des intervalles constants relativement petits au-dessus des câbles verticaux.

Le montage expérimental SE 110.18 représente un pont suspendu. Le pont se compose de deux câbles porteurs parallèles et d'un tablier suspendu. Des suspentes en U servent de câbles verticaux. Elles sont placées à des intervalles réguliers au niveau des câbles porteurs et maintiennent le tablier. Les poulies de renvoi agissent comme des pylônes.

Le tablier agit comme une charge linéaire sur les câbles porteurs et peut être chargé de poids supplémentaires.

Deux tabliers de différente rigidité sont disponibles: un tablier rigide et un tablier élastique. Le tablier rigide est équipé d'une articulation au centre. L'articulation permet d'observer les moments internes dans le tablier qui apparaissent lorsque la charge est inégale et fait plier ce dernier.

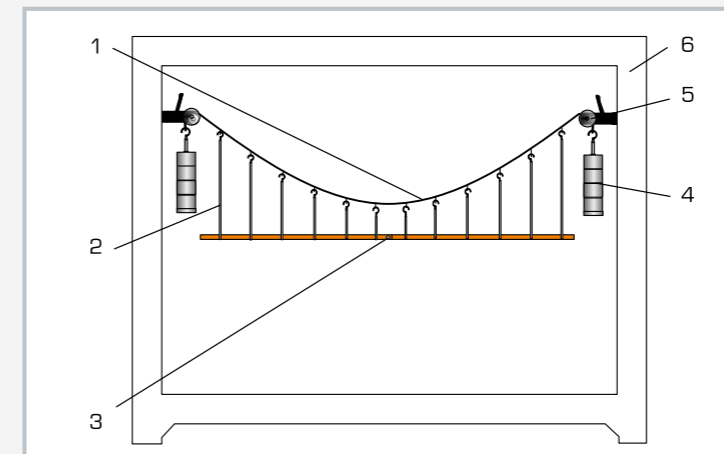
Le montage expérimental sans tablier permet de traiter des câbles suspendus librement. Pour étudier des câbles à poids propre différent, des charges ponctuelles additionnelles sont directement appliquées aux câbles porteurs.

Les forces de traction dans les câbles porteurs sont déterminées à l'aide des poids. La courbure maximale est mesurée à l'aide d'une règle graduée. La règle graduée est fixée à une traverse.

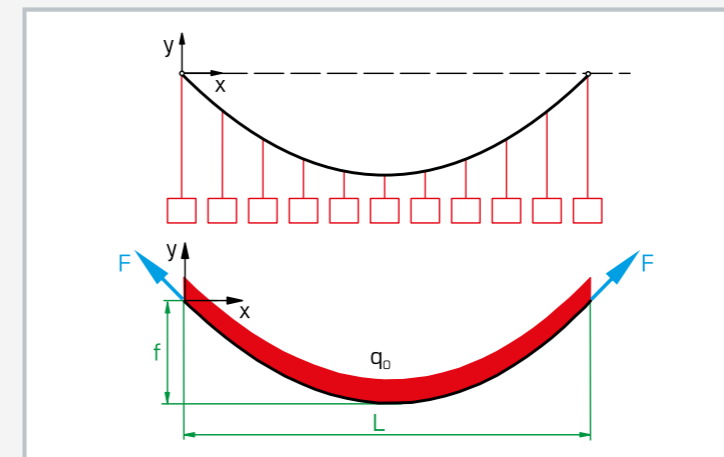
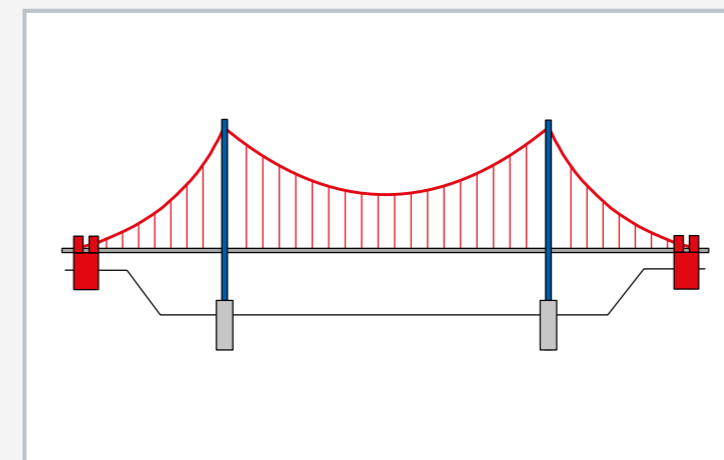
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- apprentissage concernant un pont suspendu
 - ▶ soumis au poids propre
 - ▶ soumis à un poids supplémentaire
 - ▶ soumis à une charge répartie de manière uniforme (charge linéaire)
 - ▶ soumis à une charge répartie de manière inégale (charge ponctuelle)
- calcul de la force du câble porteur
- comparaison des valeurs calculées et des valeurs mesurées de la force du câble porteur
- observation de l'effet des moments internes dans le tablier lorsque la charge est inégale
 - ▶ tablier rigide
 - ▶ tablier élastique
- détermination de la ligne de chaînette d'un câble suspendu librement



1 câble porteur, 2 suspente, 3 tablier, 4 poids, 5 poulie de renvoi avec fixation, 6 bâti SE 112

Modèle de substitution d'un pont suspendu: "câble suspendu avec charge linéaire constante" avec diagramme du corps libre (en dessous); F force portante du câble, q_0 charge linéaire; f courbure maximale, L portée

Forces au niveau d'un pont suspendu: rouge: forces de traction (agissent dans les câbles porteurs, les suspentes et les ancrages des câbles porteurs), bleu: forces de compression (agissent dans les pylônes)

Spécification

- [1] étude d'un pont suspendu dans différentes conditions de charge
- [2] pont suspendu composé de 2 câbles porteurs, tablier et 2 poulies de renvoi comme des pylônes
- [3] câbles porteurs avec courbure parabolique
- [4] suspentes (câbles porteurs verticaux) sous forme d'étriers en U avec longueurs graduées
- [5] le tablier (charge linéaire) peut être, en outre, chargé de poids
- [6] 2 tabliers comme option: tablier rigide (en deux parties avec articulation centrale) et tablier élastique
- [7] montage expérimental "câble suspendu": câbles porteurs sans tablier, chargés seulement avec des charges ponctuelles
- [8] 4 suspentes pour mesurer la force portante du câble dans les deux câbles porteurs
- [9] système de rangement pour les pièces
- [10] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Pont suspendu

- portée: env. 1050mm
- courbure du câble porteur: env. 325mm
- nombre de câbles porteurs: 2
- étrier: 12, longueurs graduées

Tablier rigide, en deux parties avec articulation, bois

- poids propre: 5,5N
- Lxlxh: 100x70x10mm

Tablier élastique, PVC

- poids propre: 3N
- Lxlxh: 100x70x3mm

Poids

- 16x 1N (suspentes)
- 12x 1N (étriers)
- 24x 1N
- 28x 5N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 37kg [total]

Liste de livraison

- 2 câbles porteurs
- 1 jeu d'étriers pour les tabliers
- 1 tablier, rigide
- 1 tablier, élastique
- 2 poulies de renvoi avec fixation
- 1 traverse avec éléments de serrage
- 1 règle graduée
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.12**Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever**

L'illustration montre le SE 110.12 dans le bâti SE 112.

Description

- poutre articulée avec deux bras et une poutre de suspension comme exemple d'un pont type
- affichage direct des réactions d'appui
- lignes d'influences pour différentes conditions de charge

De nombreux ponts sont réalisés sous la forme de poutres cantilever. Les ponts sont soumis à des charges mobiles. Dès lors, il est important de prendre en compte ces charges mobiles lors de la conception. Pour cela, on détermine ce que l'on appelle des lignes d'influence. Les lignes d'influence décrivent des réactions statiques sur une charge mobile, par ex. des réactions internes de la poutre ou des réactions d'appui. Les lignes d'influence sont calculées via la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique, tout comme la courbe des moments de flexion pour une charge statique.

Une poutre cantilever est une poutre articulée. Dans le cas du SE 110.12, elle dispose de deux bras et une poutre de suspension est également utilisée. Deux appuis soutiennent à chaque fois un bras. La poutre de suspension est montée de manière articulée sur les deux éléments en porte-à-faux des bras.

De cette manière, l'ensemble de la poutre est isostatique.

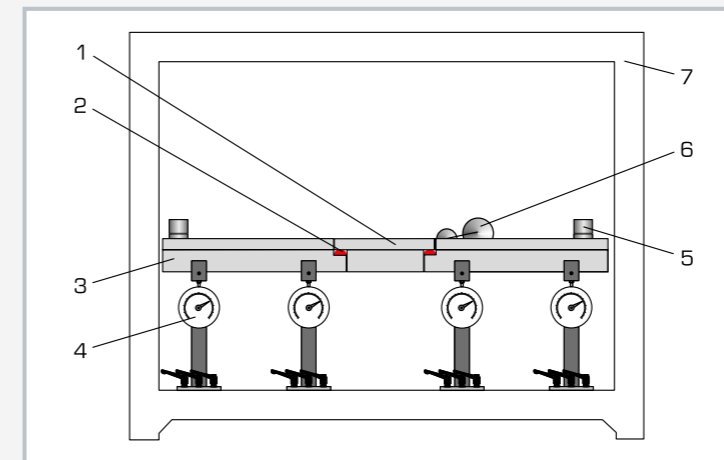
Les appuis des bras sont équipés de dynamomètres à cadran qui affichent les réactions d'appui.

Différentes charges et une charge mobile sont mis à disposition pour le chargement de la poutre. Dès lors, la poutre peut être soumise à des charges ponctuelles ou linéaires ou à une charge mobile. Les dynamomètres à cadran indiquent directement l'effet d'une charge mobile sur les réactions d'appui. Les appuis sont coulissants.

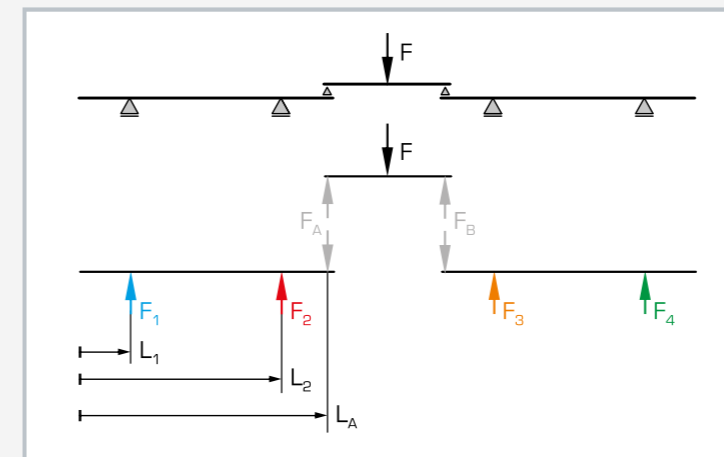
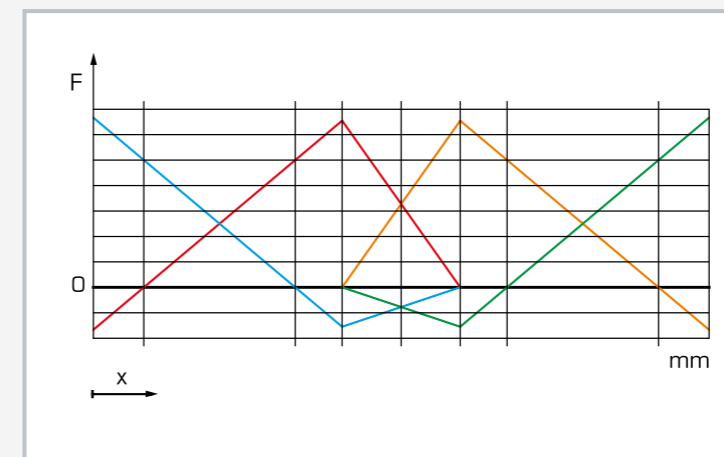
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- apprentissage concernant une poutre cantilever
- application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique afin de calculer les réactions d'appui pour
 - ▶ charge ponctuelle
 - ▶ charge linéaire
 - ▶ charge mobile
- détermination des réactions internes soumises à une charge statique
 - ▶ courbe des efforts tranchants
 - ▶ courbe des moments de flexion
- détermination des lignes d'influence soumises à une charge mobile
- comparaison des réactions d'appui calculées et mesurées pour la charge statique et la charge mobile



1 poutre de suspension, 2 appui articulé, 3 bras, 4 appui avec dynamomètre à cadran, 5 poids, 6 charge mobile, 7 bâti SE 112

Haut: montage expérimental simplifié (poutre cantilever), bas: diagramme du corps libre: F force appliquée, $F_A + F_B$ réactions des appuis articulés, F_1 à F_4 réactions des appuis avec dynamomètre à cadran, L_1, L_2, L_A positions des appuis

Lignes d'influence pour une charge ponctuelle mobile (voir aussi diagramme du corps libre): bleu: appui 1, rouge: appui 2, orange: appui 3, vert: appui 4

Spécification

- [1] étude des lignes d'influence dans la poutre cantilever isostatique avec chargement différent
- [2] poutre cantilever composée de 2 bras et 1 poutre de suspension
- [3] poutre de suspension montée de manière articulée sur les bras
- [4] chargement de la poutre avec charge mobile ou différentes charges
- [5] 4 appuis coulissants avec dynamomètre à cadran
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques**Poutre**

- longueur totale: 1220mm
- longueur du bras: 503mm
- longueur de la poutre de suspension: 250mm

Dynamomètre à cadran: de $\pm 50N$

Poids

- 24x 5N
- 12x 1N
- charge mobile: 10+20N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 40kg (total)

Liste de livraison

- 1 poutre cantilever (2 bras + 1 poutre de suspension)
- 4 appuis avec dynamomètre à cadran
- 1 charge mobile
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.17

Arc à trois articulations



L'illustration montre le SE 110.17 dans le bâti SE 112.

Description

- arc isostatique à trois articulations
- arc symétrique ou asymétrique
- différentes conditions de charge: charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile

Les ponts sont souvent construits sous la forme d'arcs à trois articulations. Cette construction convient particulièrement lorsque l'on dispose principalement de matériaux de construction résistants à la compression. Une poussée horizontale se produit dans l'arc au niveau des appuis. Cette poussée s'appelle la poussée de l'arc. Elle permet essentiellement de créer des petits moments de flexion dans l'arc tout comme dans le cas d'une poutre avec deux supports ayant la même portée. Pour cela, une force de compression longitudinale non négligeable agit dans l'arc.

Un arc à trois articulations comporte une poutre courbe montée sur deux paliers de butée et contenant ce que l'on appelle une articulation à la clé le plus souvent située au sommet. Les articulations au niveau des deux paliers de butée absorbent des forces verticales et horizontales et sont appelées articulations aux naissances. Leur ligne de jonction est la ligne des naissances.

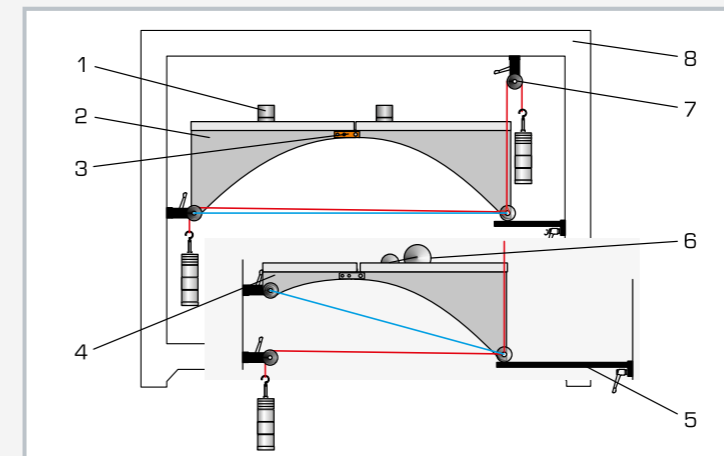
Le système est isostatique en raison de l'articulation à la clé.

Le SE 110.17 comporte trois arcs partiels, deux longs et un court, reliés de manière articulée. L'ensemble peut former un arc à trois articulations symétrique ou asymétrique. L'arc à étudier peut être chargé d'une charge ponctuelle, linéaire ou mobile. Des poids compensent les réactions d'appui d'une articulation aux naissances et permettent d'effectuer une comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs réellement mesurées.

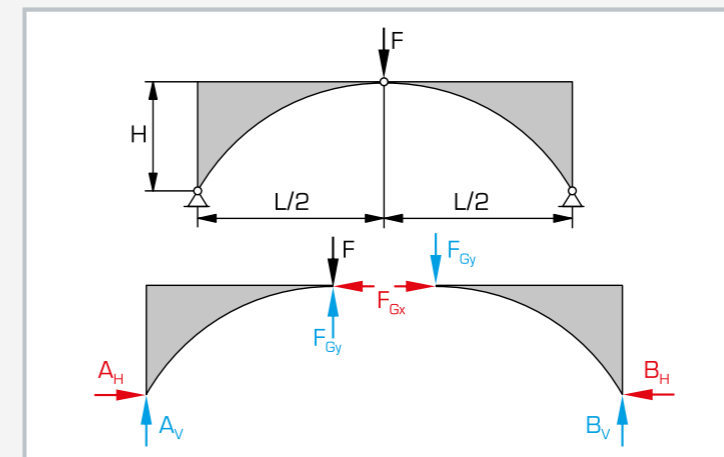
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

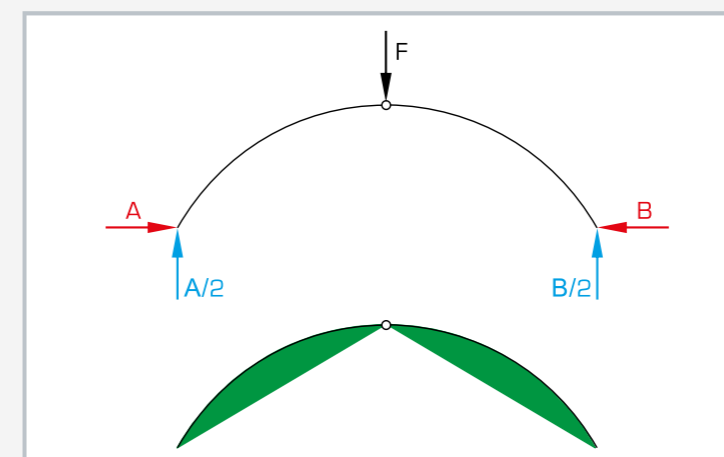
- apprentissage concernant des arcs à trois articulations (asymétrique et symétrique)
- application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique afin de calculer les réactions d'appui pour
 - ▶ charge ponctuelle, charge linéaire, charge mobile
- étude de l'influence de la charge sur la poussée horizontale dans les appuis
- détermination des lignes d'influence pour les appuis soumis à une charge mobile
- comparaison des réactions d'appui calculées et mesurées pour la charge statique et la charge mobile



1 poids, 2 arc partiel long, 3 articulation à la clé, 4 arc partiel court, 5 appui, 6 charge mobile, 7 poulie de renvoi avec fixation, 8 bâti SE 112; rouge: câble, bleu: ligne des naissances



Haut: arc à trois articulations chargé symétriquement, Bas: diagramme du corps libre de l'arc chargé



Courbe théorique des moments de flexion dans l'arc chargé symétriquement: haut: diagramme du corps libre avec forces calculées, bas: courbe qualitative des moments de flexion en vert

Spécification

- [1] étude de 2 arcs isostatiques à trois articulations
- [2] arc articulé avec 3 articulations: 1 articulation à la clé, 2 articulations aux naissances au niveau des points d'appui
- [3] 3 arcs partiels: 2x longs (forment ensemble l'arc symétrique), 1x court (avec 1x long: arcs asymétriques)
- [4] chargement de l'arc à l'aide d'une charge ponctuelle, d'une charge linéaire (des charges) ou d'une charge mobile
- [5] charges pour compenser les réactions d'appui d'une articulation aux naissances
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Arcs en aluminium

- 2x longs: 480mm, longueur totale de l'arc: 960mm
- 1x court: 230mm, longueur totale de l'arc: 710mm
- hauteur de l'arc: 250mm

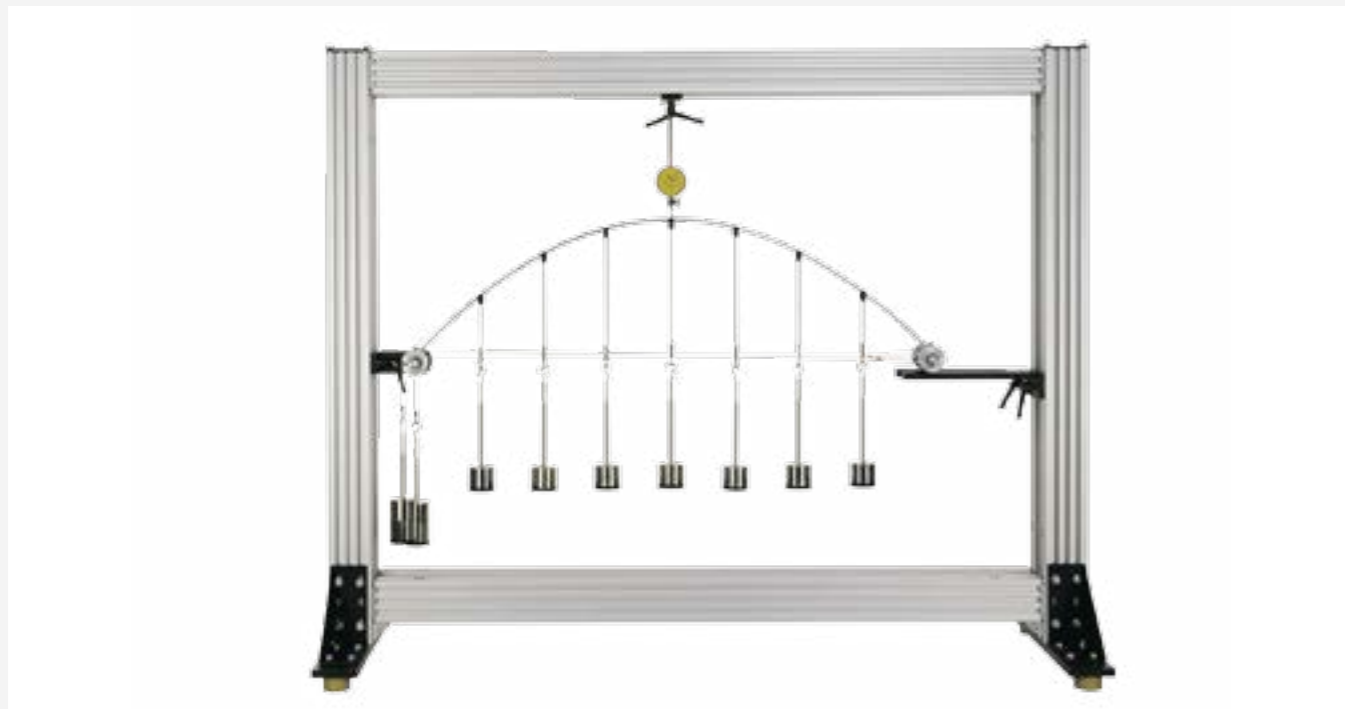
Poids

- 4x 1N (suspentes)
- 36x 1N
- 16x 5N
- charge mobile: 10N+20N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 56kg (total)

Liste de livraison

- 3 parties d'arc
- 1 charge mobile
- 2 appuis
- 1 jeu de poids avec poulies de renvoi
- 2 systèmes de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.16
Arc parabolique

L'illustration montre le SE 110.16 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- arcs paraboliques isostatiques ou hyperstatiques soumis à une charge
- déformations de l'arc soumis à une charge
- réactions d'appui de l'arc

Les arcs paraboliques sont des éléments recherchés dans la technique de construction. Ils peuvent notamment être utilisés comme ponts ou comme poutres. Normalement, ces ponts sont hyperstatiques. La particularité de l'arc parabolique est que seules les forces normales et seuls les moments de flexion apparaissent dans l'arc, mais pas les efforts tranchants. C'est le cas lorsque l'arc est soumis à une charge linéaire uniforme et que les deux extrémités sont fixées dans des paliers fixes. De cette manière, il est possible de construire des arcs en pierres posées de manière libre. Il s'agit d'une technique de construction qui existe depuis de nombreux siècles. Les charges agissent à l'intérieur de l'arc principalement en tant que force de compression dans le sens de la force normale à chaque point de l'arc.

Le SE 110.16 comporte un arc parabolique préformé. Il peut être soumis à des charges ponctuelles ou linéaires.

Il est possible de suspendre un tablier élastique et de le charger.

Un des appuis de l'arc est un palier fixe, l'autre est un palier mobile horizontalement. Ce déplacement est annulé à l'aide de poids. Dès lors, le palier libre devient un palier fixe. Des poids supplémentaires compensent la réaction d'appui verticale.

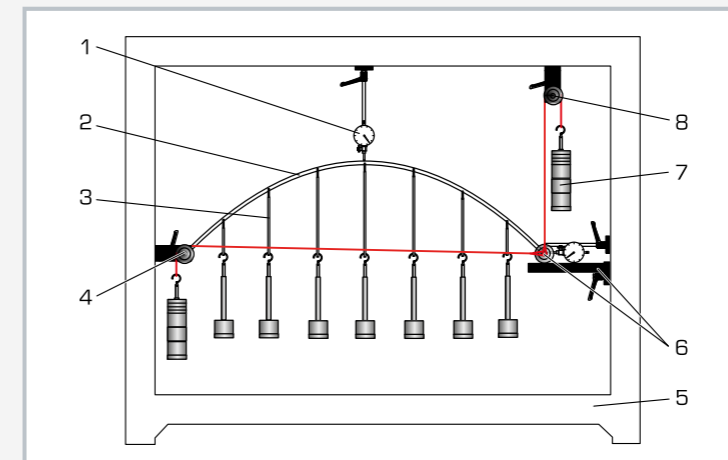
Les comparateurs à cadran saisissent le fléchissement de l'arc soumis à une charge et le déplacement horizontal du palier libre. Aussi longtemps que le palier libre reste mobile, l'arc est isostatique. Cependant, il est nettement déformé lorsqu'il est soumis à une charge.

Dès que le palier libre devient immobile, l'arc n'est plus isostatique et ne présente plus qu'une légère déformation.

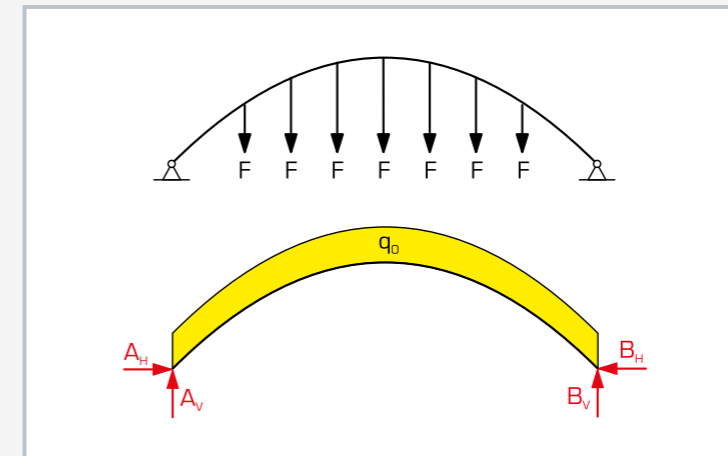
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

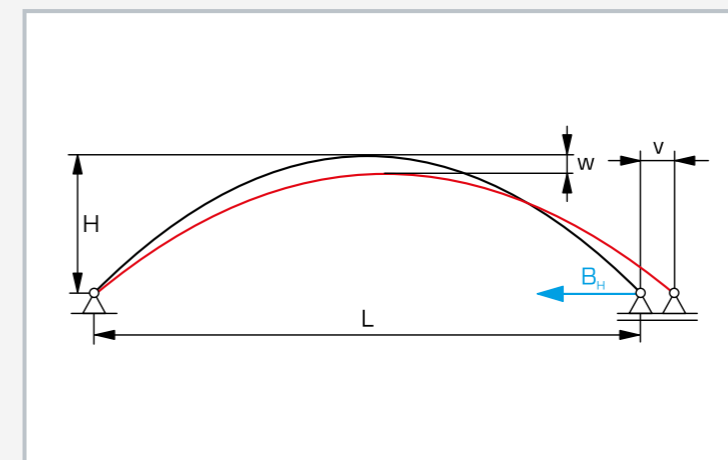
- principes mécaniques de l'arc parabolique
- différences entre l'arc isostatique et l'arc hyperstatique
- mesure des déformations de l'arc soumis à une charge
- mesure des réactions d'appui au niveau de l'arc hyperstatique soumis à une charge
- calcul des réactions d'appui
- influence de la charge sur les efforts d'appui et la déformation de l'arc
 - ▶ charge ponctuelle
 - ▶ charge linéaire
 - ▶ tablier avec des charges



1 comparateur à cadran, 2 arc, 3 étrier, 4 palier fixe, 5 bâti SE 112, 6 palier libre avec plaque de palier, 7 poids, 8 poulie de renvoi, en rouge: câble; pas représenté: tablier élastique



Haut: forces au niveau de l'arc parabolique hyperstatique, bas: diagramme du corps libre avec charge linéaire q_0 en jaune (produite à partir des charges ponctuelles F réparties de manière uniforme) et réactions d'appui $F_A + F_B$ en rouge



Déformation de l'arc isostatique soumis à une charge linéaire: L longueur, H hauteur, w fléchissement, v déplacement horizontal au niveau du palier libre

Spécification

- [1] étude d'un arc parabolique, au choix isostatique (1 palier fixe, 1 palier libre) ou hyperstatique (2 paliers fixes)
- [2] chargement de l'arc avec une charge linéaire à l'aide de 7 charges réparties de manière uniforme ou de charges ponctuelles ou d'un tablier suspendu avec des charges
- [3] 2 comparateurs à cadran saisissent la déformation de l'arc soumis à une charge
- [4] poids pour compenser les réactions d'appui d'un palier fixe
- [5] tablier avec 1 jeu d'étriers qu'on peut suspendre dans l'arc; étriers avec longueurs graduées
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Arc parabolique préformé en acier

- longueur: 1000mm
- hauteur: 280mm
- section: 20x6mm

Tablier de PVC

- poids propre: env. 2,6N
- Lxlxh: 900x70x3mm

Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...25mm
- graduation: 0,01mm

Poids

- 11x 1N (7+4 suspentes)
- 7x 1N (étriers)
- 36x 1N
- 19x 5N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 38kg (total)

Liste de livraison

- 1 arc avec 7 étriers + 7 suspentes
- 1 tablier avec des étriers
- 1 jeu de poids
- 2 poulies de renvoi avec fixation
- 1 appui
- 2 comparateurs à cadran
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauges de contrainte

SE 110.21

Forces dans différents treillis plans



Page 38

FL 120

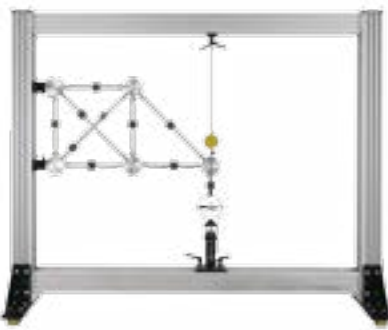
Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme



Page 130

SE 110.22

Forces dans un treillis hyperstatique



Page 40

FL 130

Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



Page 132

SE 130

Forces dans un treillis type Howe



Page 42

FL 140

Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse



Page 134

L'appareil FL 152 sert à amplifier les signaux de mesure lorsque l'on enregistre des forces ou des contraintes (et donc des déformations) à l'aide de jauges de contrainte sur nos appareils d'essai. Ces signaux sont traités et exploités au sein d'un logiciel GUNT.

L'appareil dispose de 16 voies d'entrée permettant de traiter les signaux de mesure analogiques envoyés par les jauges de contrainte.

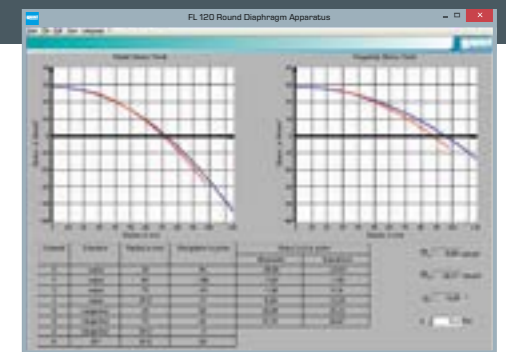
Le FL 152 peut soit être utilisé en tant qu'appareil autonome, soit être relié à un PC par l'intermédiaire d'une interface USB.

Ce logiciel GUNT a été conçu pour accompagner de manière didactique l'apprentissage dans le domaine de l'analyse des contraintes et de l'analyse des treillis.

- commande par écran tactile
- affichage des valeurs de mesure, au choix directement sur l'appareil ou sur le PC

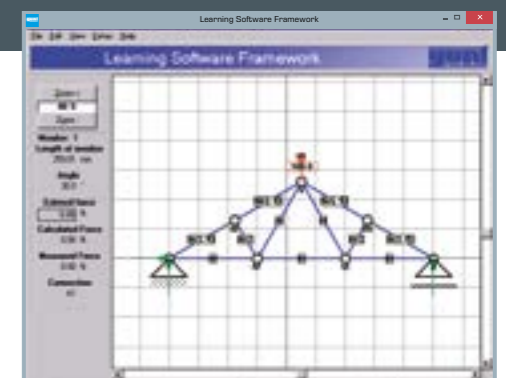
Logiciel GUNT dans FL 152 pour la réalisation et l'évaluation d'essais sur l'analyse des contraintes

- lecture des valeurs de mesure et sauvegarde dans un fichier
- représentation des courbes des déformations et des contraintes
- calcul des déformations principales et des contraintes principales
- évaluation de l'essai à l'aide du cercle de Mohr des déformations
- système d'exploitation: Windows



Logiciel GUNT dans FL 152 pour la réalisation et l'évaluation d'essais sur l'analyse des treillis

- accompagnement dans la réalisation et l'évaluation des essais
- simulation de treillis
- treillis configurables
- comparaison des forces en présence: théorie et mesure
- impression possible des feuilles de travail



FL 152

Amplificateur de mesure multivoie



Description

- 16 voies d'entrée pour traiter les signaux de mesure analogiques des jauges de contrainte, raccordement simple via un connecteur d'entrées multiples
- logiciel intégré pour l'évaluation des essais d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)

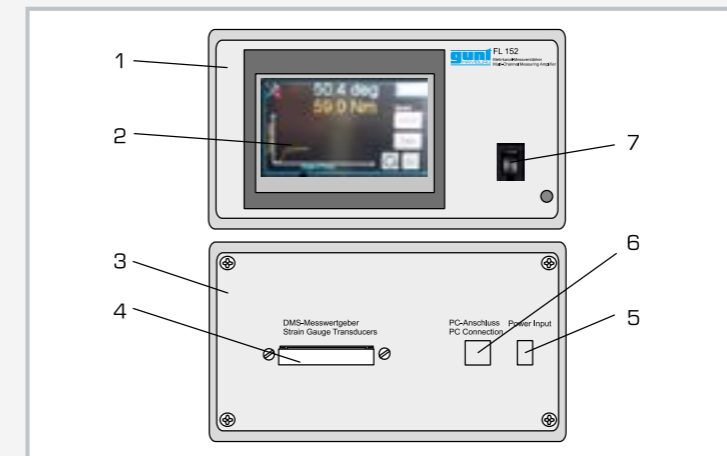
Les contraintes présentes dans les composants sont déterminées dans l'analyse des contraintes expérimentales en mesurant les déformations. Dans l'industrie, les déformations sont souvent enregistrées à l'aide de jauges de contrainte. Les jauges de contrainte ne fournissant que de petits signaux de mesure analogiques, ces signaux doivent être amplifiés par des amplificateurs de mesure. Ils sont ensuite convertis en impulsions numériques et affichés comme valeurs de mesure. Les valeurs de mesure peuvent être évaluées et traitées avec le PC.

Le FL 152 est un amplificateur de mesure multivoie qui alimente les circuits à pont pour jauges de contrainte et permet de traiter les signaux de mesure reçus. L'amplificateur de mesure contient 16 voies d'entrée. Les points de mesure pour jauge de contrainte sont raccordés via un connecteur multiple 68 pôles.

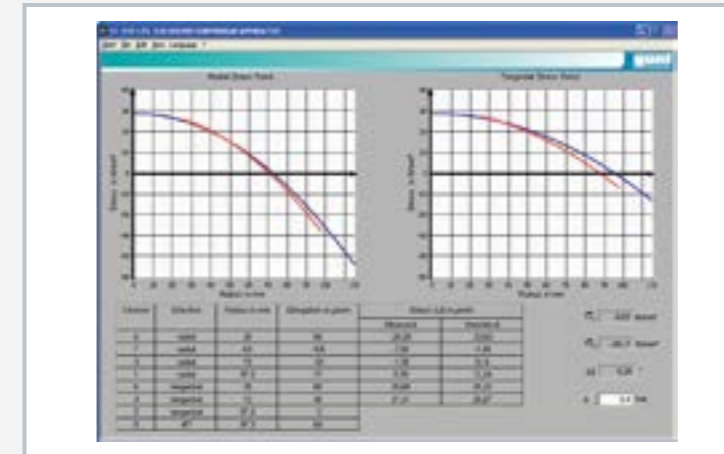
L'utilisation de l'amplificateur de mesure multivoie s'effectue à l'aide d'un écran tactile ou à l'ordinateur à l'aide du logiciel fourni. La liaison au PC est assurée par une connexion USB. Les valeurs de mesure peuvent être lues et enregistrées sur le PC (p. ex. avec MS Excel).

Contenu didactique/essais

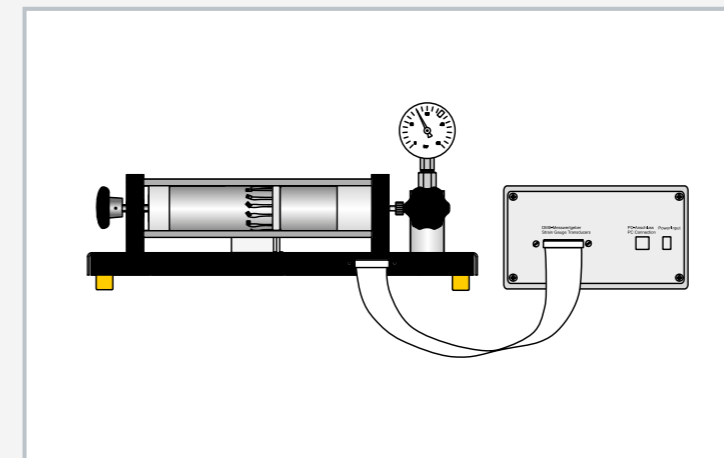
- amplification des signaux à partir des points de mesure pour jauge de contrainte
- traitement des valeurs de mesure sur le PC
- évaluation des essais d'analyse des contraintes concernant: FL 120, FL 130, FL 140
- interprétation des essais de forces dans les treillis concernant: SE 130, SE 110.21, SE 110.22



1 vue avant, 2 écran tactile, 3 vue arrière de l'appareil, 4 raccordement des points de mesure pour jauge de contrainte, 5 alimentation électrique, 6 interface USB, 7 commutateur principal



Logiciel d'application pour les analyses des contraintes par exemple avec le FL 120 (analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme)



Exemple d'application: FL 152 associé au FL 130 (analyse des contraintes au niveau du réservoir à paroi mince)

Spécification

- [1] amplificateur de mesure multivoie servant à traiter les signaux des jauges de contrainte
- [2] raccordement des jauges de contrainte en pont intégral ou en demi-pont
- [3] raccordement des jauges de contrainte via un connecteur d'entrée 68 pôles
- [4] tarage automatique des valeurs de mesure
- [5] traitement des valeurs de mesure directement dans l'amplificateur de mesure ou sur le PC à l'aide du logiciel fourni
- [6] logiciel intégré pour appareils d'essai concernant d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Amplificateur

- nombre de voies d'entrée: 16

Raccordement des jauges de contrainte en pont intégral ou en demi-pont

- résistance: min. 350 Ohm/jauge de contrainte
- tension d'alimentation des jauges de contrainte: $\pm 5VCC$

Tension d'entrée: max. $\pm 32mV$

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 230x200x120mm
Poids: env. 2kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 amplificateur de mesure multivoie
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 notice

SE 112

Bâti de montage



Spécification

- [1] bâti de montage pour accueillir les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique
- [2] double bâti stable, profilé en acier, soudé
- [3] fixation précise et facile de toutes les pièces de montage par raccord de serrage sur mesure
- [4] à monter de manière stable sur des tables de laboratoire ou sur des établis
- [5] livraison du bâti en pièces détachées

Caractéristiques techniques

Bâti de montage en profilés en acier
 ■ ouverture du bâti lxh: 1250x900mm
 ■ largeur des rainures du profilé: 40mm

Lxlxh: 1400x400x1130mm (monté)
 Lxlxh: 1400x400x200mm (non monté)
 Poids: env. 32kg

Liste de livraison

- 1 bâti de montage en pièces détachées
- 1 jeu de vis avec clé pour vis à six pans creux
- 1 mode d'emploi

Description

■ **bâti pour les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique**

Le bâti de montage SE 112 permet d'effectuer des montages expérimentaux clairs et simples en rapport avec les domaines de la statique, de la résistance des matériaux et de la dynamique.

Le SE 112 se compose de profilés en acier qui sont vissés à un bâti de montage. Deux pieds latéraux garantissent une position stable. Le montage du bâti à partir de différents éléments s'effectue facilement et rapidement, ce qui requiert peu de manipulations.

Systèmes de rangement de GUNT aident à organiser leur laboratoire

TM 115

Forces dans le bras de grue



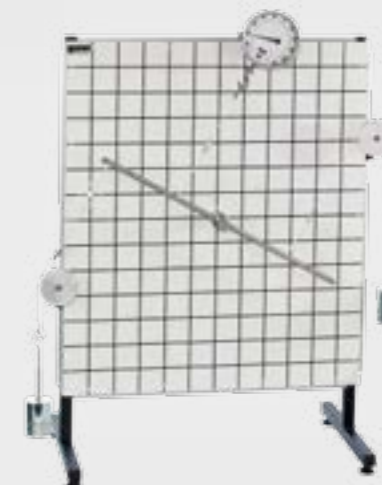
WP 960

Poutre sur 2 supports: courbes des efforts tranchants et des moments de flexion



SE 110.21

Forces dans différents treillis plans



TM 110

Principe de la statique



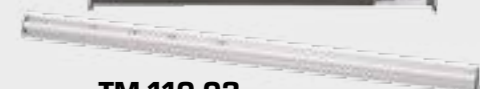
TM 110.02

Jeu complémentaire poulies



TM 110.03

Jeu complémentaire roues dentées



Cours: mécanique appliquée

GUNT-Structure Line:
Un cours de
mécanique appliquée



Cours: mécanique appliquée

Chez GUNT, le terme "Structure" désigne les structures et ouvrages. Le terme "Line" désigne chez GUNT une série d'appareils. La GUNT-Structure Line est une série d'appareils développée spécialement par GUNT pour accompagner, avec des exercices pratiques, l'apprentissage des principes de base de la mécanique.

La GUNT-Structure Line offre les avantages suivants:

- organisation judicieuse des thématiques des essais
- spectre d'essais étendu: un bâti est combiné avec différentes pièces de montage
- transport facile et stockage compact des pièces de montage grâce à des systèmes de rangement empilables
- réalisation ordonnée des essais grâce au rangement bien conçu des différentes pièces dans des protections en mousse

La série d'appareils offre une grande diversité de possibilités pour se familiariser avec les thématiques classiques des conditions d'équilibre, des forces et déformations ou de la stabilité et du flambement, et permettre une compréhension approfondie de ces sujets.

- rangement sécurisé des pièces de petite taille telles que vis, adaptateurs et outils dans des boîtes transparentes
- bâti de montage stable, facilement montable et démontable, avec base fixe grâce aux pieds en caoutchouc
- montage facile des pièces à l'emplacement souhaité du bâti grâce à des leviers de serrage

Un seul bâti de montage pour une grande diversité de montages expérimentaux

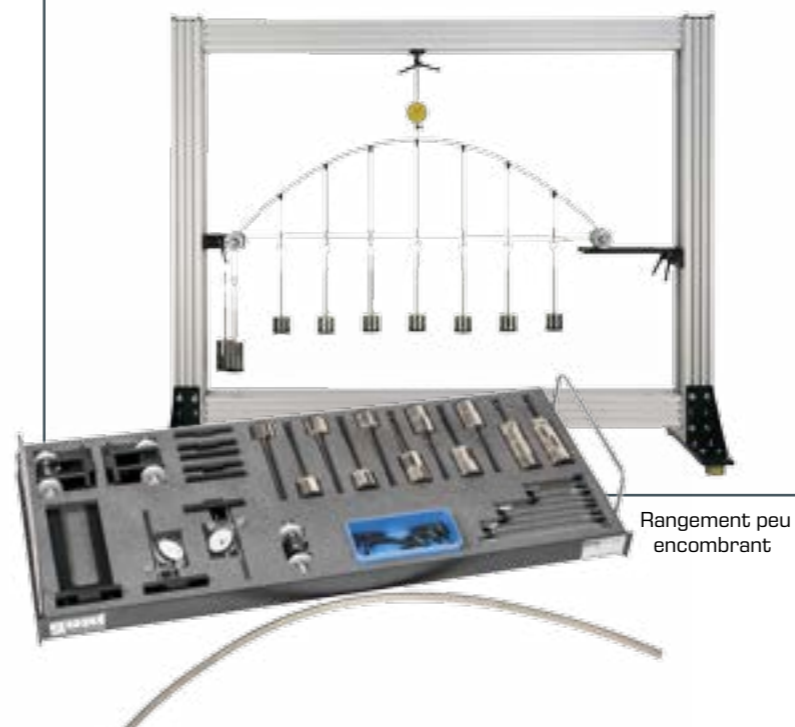


- montage facile
- base stable
- bâti stable, usages divers
- éléments de fixation parfaitement adaptés aux pièces de montage

Essais de statique

SE 110.16

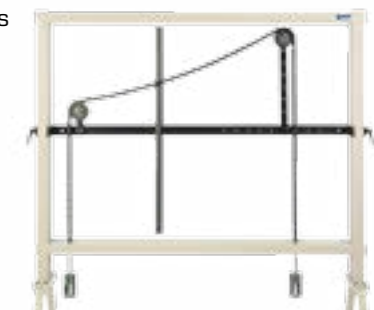
Arc parabolique



Rangement peu encombrant

SE 110.50

Câble soumis au poids propre



SE 110.21

Forces dans différents treillis plans



Essais de résistance des matériaux

SE 110.44

Déformation d'un treillis



SE 110.47

Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique



SE 110.19

Étude de problèmes de stabilité simples

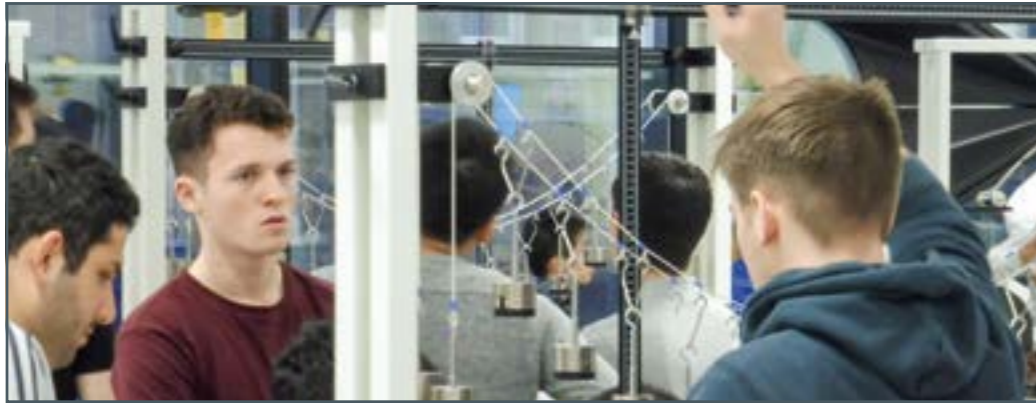


Rangement peu encombrant



Concept d'apprentissage de la GUNT-Structure Line

La GUNT-Structure Line permet la construction d'un laboratoire complet sur les principes de base de la mécanique. Elle permet de reproduire et visualiser de manière explicite, par le biais d'expériences en petits groupes, les contenus plutôt abstraits des cours magistraux. Cela facilite de manière durable l'apprentissage, et permet, au-delà des compétences spécialisées, de développer la compétence sociale des membres du groupe.



Les expériences manuelles développent les capacités suivantes:

- planification des séries d'essais
 - construction des essais
 - développement de la capacité d'abstraction
 - développement du travail manuel et de l'habileté
 - développement de l'efficacité du travail en équipe
-
- transposition dans la pratique de sujets de cours théoriques
 - développement d'une sensibilité concernant les forces et contraintes
-
- évaluation des résultats
 - estimation des erreurs

En quoi l'expérimentation manuelle développe-t-elle les aptitudes?

- le dessin de montage abstrait doit être transposé en un montage expérimental réel. Cela requiert de l'imagination, du discernement et de l'habileté. On apprend comment des notions abstraites, telles que le serrage ou l'appui articulé, se matérialisent d'un point de vue technique. Cela permet aussi de bien percevoir les limites de l'idéalisation.
- les notions de stabilité et d'équilibre d'un système sont, par exemple, bien mises en évidence lorsque l'on ajoute les charges à la main.
- la charge des montages expérimentaux est presque exclusivement constituée de poids, ce qui permet aux étudiants de développer une sensibilité pour les masses et les forces.
- la mesure des déformations à l'aide de comparateurs à cadran permet de connaître immédiatement la charge. Cela permet de faire l'expérience du jeu et du frottement qui sont pratiquement toujours présents sur les systèmes réels, ainsi que des hystérésis qui en découlent.

Montage expérimental mécanique

Le bâti, les pièces de montage et les éléments de liaison sont assemblés pour former un montage expérimental fonctionnel. On expérimente les points d'application des charges, leurs effets sur les structures ou les éléments de construction, ainsi que l'utilisation d'appuis fixes et d'appuis libres.

Cela permet d'avoir une vision concrète et compréhensible du fonctionnement et des processus des systèmes de structure, et de garantir un apprentissage durable par l'expérience.



Documentation didactique sous format papier



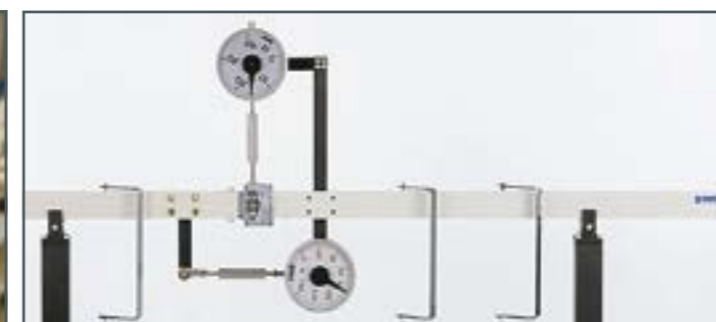
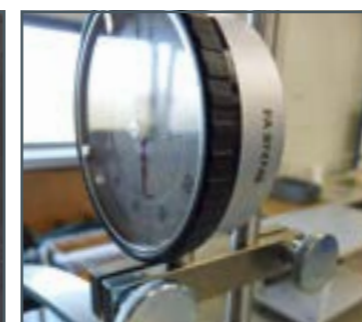
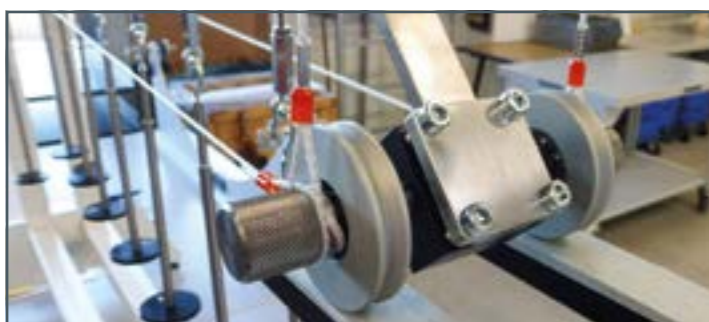
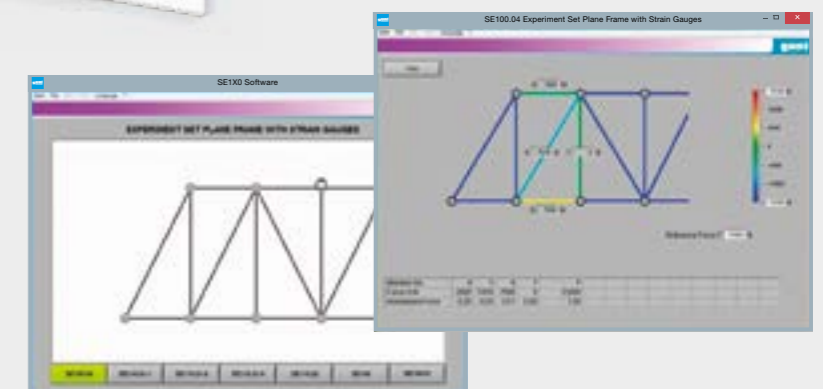
Une partie sur les principes de base avec la théorie correspondante et des instructions d'essai se référant au modèle permettent de préparer l'essai de manière intensive. Des résultats d'essai à titre d'exemple permettent de bien évaluer ses propres résultats.

Notre documentation didactique vous sera très utile dans la préparation de votre cours, la réalisation de l'essai puis son analyse.

Logiciel GUNT spécifique pour chaque appareil

Le logiciel permet de faire le lien entre le modèle mécanique et la documentation didactique sous format papier.

Le logiciel permet de simuler et configurer des treillis. De même, des valeurs de mesure concrètes permettent d'illustrer le comportement des systèmes de treillis, et les efforts dans la barre sont représentés graphiquement (SE 110.21, SE 110.22).



Contenu de la GUNT-Structure Line

Un spectre d'essais étendu avec des possibilités très variées

Cette série couvre des thématiques telles que les conditions d'équilibre, les forces et les déformations ou la stabilité et le flambement.

Les appareils d'essai correspondent, en eux-mêmes, à une unité d'apprentissage, mais les contenus didactiques des différents appareils d'une thématique se complètent entre eux de manière judicieuse.

Pour réaliser un montage expérimental complet, on monte les différentes pièces d'un appareil d'essai donné sur le bâti de montage SE 112.



Conditions d'équilibre

SE 110.50

Câble soumis au poids propre

- détermination de la ligne de chaînette d'un câble en suspension libre
- mesure de la flèche
- comparaison des valeurs mesurées avec les valeurs calculées

SE 110.53

Équilibre dans un système plan isostatique

- conceptualisation expérimentale du principe important de la "coupe" en statique
- calcul des réactions d'appui
- application de la 1^{re} et de la 2^e conditions d'équilibre de la statique

Ponts, poutres, arcs

SE 110.12

Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever

- application de la méthode des sections et des conditions d'équilibre de la statique pour le calcul des réactions d'appui
- détermination des réactions internes sous l'effet d'une charge statique

SE 110.16

Arc parabolique

- principes de base mécaniques de l'arc parabolique
- différences entre l'arc statiquement déterminé et l'arc hyperstatique
- influence de la charge sur les réactions d'appui et la déformation d'un arc

SE 110.17

Arc à trois articulations

- étude de l'influence de la charge sur la poussée horizontale dans les appuis
- détermination des lignes d'influence pour les appuis soumis à une charge mobile

SE 110.18

Forces au niveau d'un pont suspendu

- calcul de la force portante du câble
- observation de l'effet des moments internes dans le tablier lorsque la charge est inégale

Forces et déformations dans un treillis

SE 110.21

Forces dans différents treillis plans

- dépendance des efforts dans la barre à la force externe
- comparaison des résultats de mesure avec des méthodes de mesure mathématiques: méthode des nœuds, méthode des sections de Ritter

SE 110.22

Forces dans un treillis hyperstatique

- distribution des forces dans un treillis plan en fonction de l'utilisation ou non d'une barre en plus
- dépendance des efforts dans la barre à la force externe

SE 110.44

Déformation d'un treillis

- principe du travail et de l'énergie, et énergie de déformation
- application du 1^{er} théorème de Castigliano pour le calcul de la déformation à un point défini
- comparaison des déformations de différents treillis à charge égale

Déformations élastiques et permanentes

SE 110.14

Kit d'expérience poutre continue

- courbe de flexion élastique avec différentes conditions de charge / d'appui
- démonstration de l'équation de Maxwell-Betti

SE 110.47

Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique

- principe du travail virtuel (calcul), analogie de Mohr (méthode de Mohr concernant le diagramme des moments; approche graphique)
- application du principe de superposition de la mécanique

SE 110.20

Déformation des bâtis

- relation entre charge et déformation sur un bâti
- théorie de l'élasticité de 1^{er} ordre pour les systèmes statiquement déterminés et les systèmes hyperstatiques

SE 110.29

Torsion de barres

- module de cisaillement et moment d'inertie géométrique polaire
- angle de torsion en fonction de la longueur de serrage / du moment de torsion
- influence de la rigidité de torsion sur la torsion

SE 110.48

Kit d'expérience de flexion, déformation plastique

- poutre en flexion soumise à une charge ponctuelle
- enregistrement d'un diagramme force-allongement

Stabilité et flambement

SE 110.19

Étude de problèmes de stabilité simples

- détermination de l'effort de flambement
- étude du comportement de flambement sous l'influence d'efforts tranchants supplémentaires ou d'une déformation préalable

SE 110.57

Flambement de barres

- étude du comportement de flambement sous l'influence de différents appuis, serrages, coupes transversales, matériaux ou d'une charge axiale supplémentaire
- vérification de la théorie d'Euler: flambement sur des barres élastiques
- calcul de l'effort de flambement attendu en utilisant la formule d'Euler
- interprétation graphique de la déviation et de la force

Vibrations sur une poutre en flexion

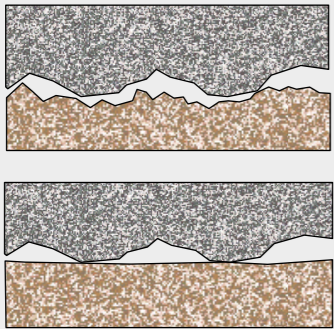
SE 110.58

Kit d'expérience oscillation libre

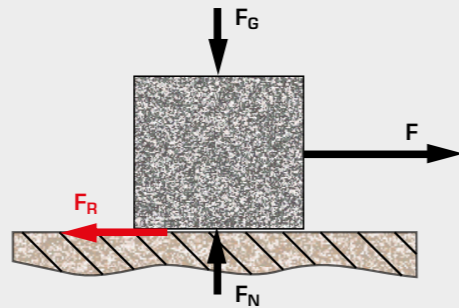
- vibration libre sur une poutre en flexions verticale et horizontale
- détermination des fréquences propres selon Rayleigh
- influence de la longueur de serrage et de la masse sur la fréquence propre

Connaissances de base Adhérence et frottement

Tandis que pour l'étude des corps rigides en statique, on observe des **corps idéalisés** non influencés par les forces de frottement, dans le domaine de l'adhérence et du frottement, on étudie des **corps solides réels**. Le frottement apparaît sur tous les corps fixes qui sont en contact les uns avec les autres, et qui sont déplacés les uns contre les autres. Les forces qui apparaissent sont dues entre autres à la rugosité de surface qui provoque un engrènement des surfaces.



En haut, deux corps solides ayant tous deux une forte rugosité de surface; en bas, un corps solide ayant une forte rugosité de surface et un second corps de faible rugosité de surface



F_G poids, F_R force de frottement, F_N force normale, F force externe, p.ex. force de traction

Selon la **loi de Coulomb sur le frottement**, la force de frottement est proportionnelle à la force normale.

Le facteur de proportionnalité μ dépend de la paire de matériaux des corps et est appelé coefficient de frottement.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

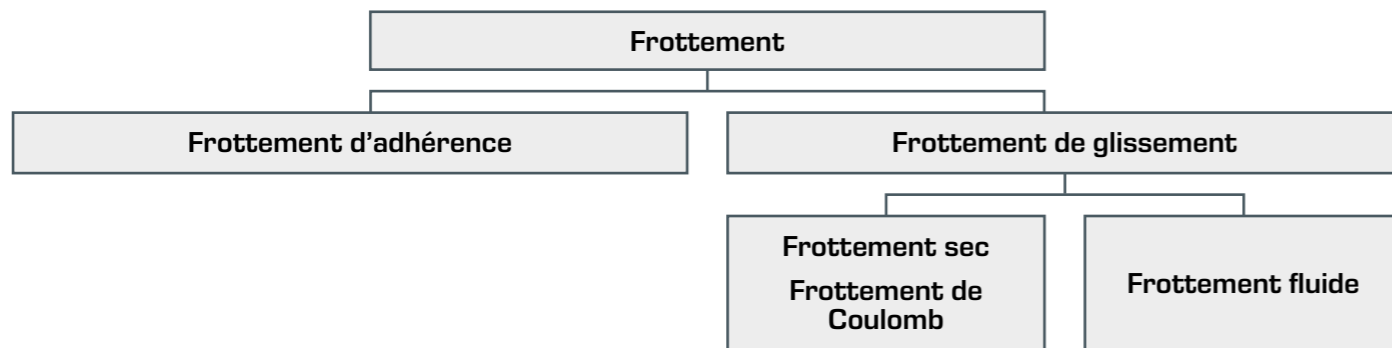
Valeurs typiques du coefficient de frottement μ

Paire de matériaux	Coefficient de frottement μ
Acier sur acier	0,1 bis 0,4
Acier sur téflon	0,04
Aluminium sur aluminium	1,1 bis 1,7
Bois sur bois	0,3

Types de frottement

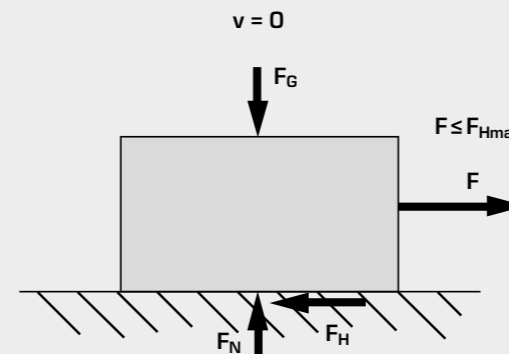
On distingue deux types de frottement: Le **frottement d'adhérence**, pour lequel il n'y a aucun mouvement des corps entre eux, et le **frottement de glissement**, pour lequel les surfaces

se déplacent les unes par rapport aux autres. La rugosité des surfaces est décrite par le coefficient de frottement μ_S pour l'adhérence et μ_K pour le glissement.



Frottement d'adhérence

On est en présence d'un **frottement d'adhérence** lorsque des forces s'exercent sur les deux corps mais qu'aucun mouvement relatif ne s'est engagé entre les deux corps. C'est pourquoi on parle également de la force d'adhérence qu'il faut surmonter pour pouvoir déplacer un corps. La force d'adhérence est une force de réaction; sur les systèmes statiquement déterminés, on peut la déterminer à partir des conditions d'équilibre.



Le corps adhère à son support

F_G poids, F_H force d'adhérence, F_N force normale, F force externe, v vitesse

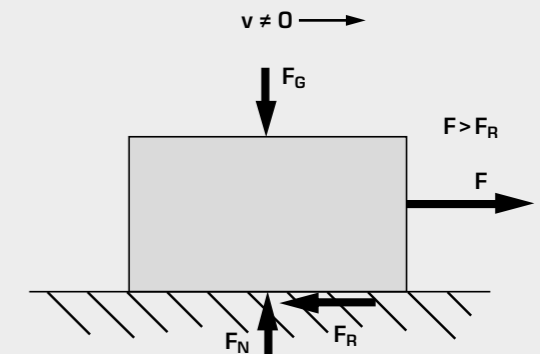
$$F \leq F_{Hmax}$$

$$F_{Hmax} = \mu_S \cdot F_N$$

F_{Hmax} force d'adhérence maximale, μ_S coefficient de frottement d'adhérence, F_N force normale, F force externe

Frottement de glissement

On est en présence d'un **frottement de glissement** lorsqu'un corps se déplace le long d'un autre, et donc se frotte littéralement à lui. Sa valeur est d'autant plus élevée que les surfaces qui glissent l'une sur l'autre sont rugueuses et que la compression de l'une contre l'autre est forte. La force de glissement est une force physique et est proportionnelle à la force normale F_N .



Le corps glisse sur son support

F_G poids, F_R force de glissement, F_N force normale, F force externe, v vitesse

$$F > F_R$$

$$F_R = \mu_K \cdot F_N$$

F_R force de glissement, μ_K coefficient de frottement de glissement, F_N force normale, F force externe

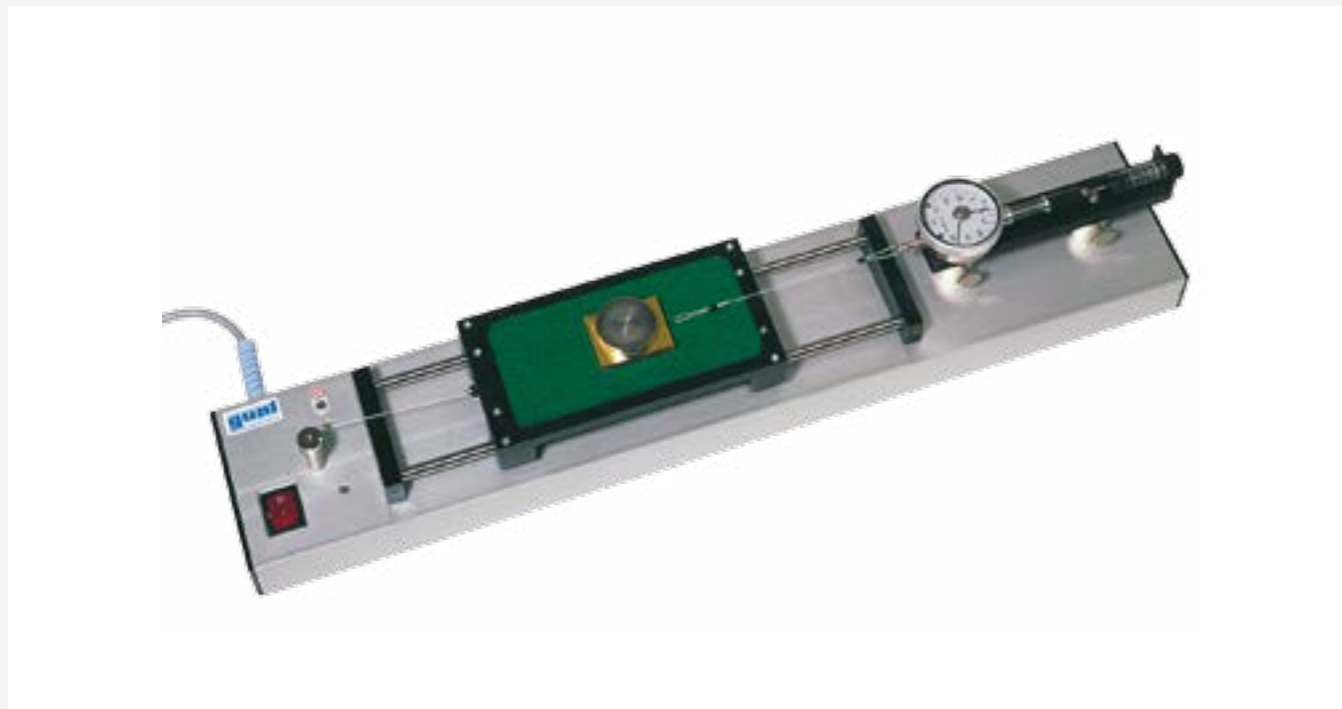
La constante de proportionnalité est appelée coefficient de frottement d'adhérence μ_S . Il dépend du matériau et des caractéristiques de surface des différents corps. Un corps commence à glisser dès lors que la force appliquée dépasse la force d'adhérence maximale.

Pour le calcul du frottement, on sait que: le coefficient de frottement de glissement μ_K est en règle générale inférieur au coefficient de frottement d'adhérence μ_S .



TM 210

Frottement entre des corps solides



L'illustration montre un appareil similaire.

Description

- principe du frottement mécanique
- corps de frottement fixe, support de frottement déplacé de manière uniforme
- dynamomètre à cadran avec vérin à amortissement pneumatique

Les apparitions de frottement jouent un rôle essentiel en mécanique. Le frottement statique doit suffire à fixer des pièces entre elles, par ex. freins de stationnement, filetage irréversible ou liaisons par friction. Le frottement dynamique doit être le plus petit possible, par ex. pour les paliers, les rails de guidage ou les outils de façonnage. C'est pourquoi, ce thème est traité en détail en mécanique appliquée et des essais clairs permettent d'approfondir la compréhension de ce thème.

L'appareil TM 210 offre un large éventail d'essais en rapport avec le frottement statique et le frottement dynamique entre des corps solides qui sont en contact mutuel et se déplacent les uns par rapport aux autres. Différentes influences sur le frottement peuvent être étudiées, par ex. la nature de la surface et la combinaison de matériaux.

Un support de frottement glisse en dessous du corps de frottement à l'arrêt. Le support de frottement se situe dans un chariot qui est tiré par un moteur avec une vitesse uniforme.

Le corps de frottement est relié à un dispositif de mesure des forces réglable en hauteur. Cela permet de garantir que les lignes d'action de la force de frottement et de la force de traction sont parallèles. Le dispositif de mesure des forces se compose essentiellement d'un dynamomètre à cadran équipé d'un amortisseur pneumatique afin de compenser largement les effets slip-stick et d'afficher une force de frottement moyenne (sans valeurs maximales).

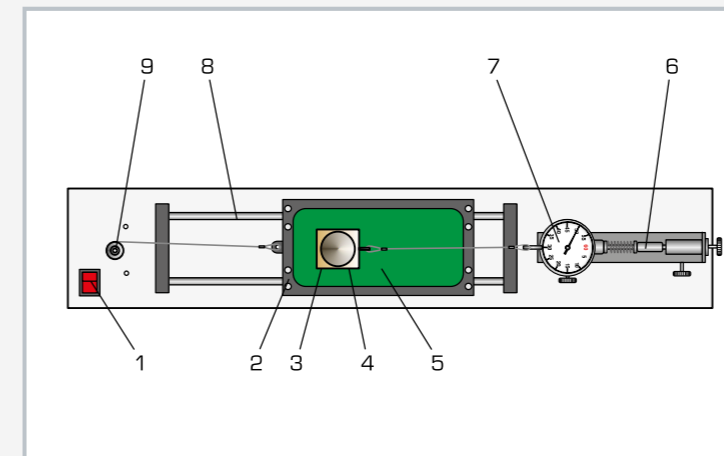
Trois supports de frottement et deux corps de frottement au choix. Il est possible de changer la force normale à l'aide de poids supplémentaires. Les essais peuvent être effectués avec deux vitesses constantes.

L'amortissement pneumatique est réglable. Lorsqu'il ne fonctionne pas, des effets slip-stick peuvent être observés.

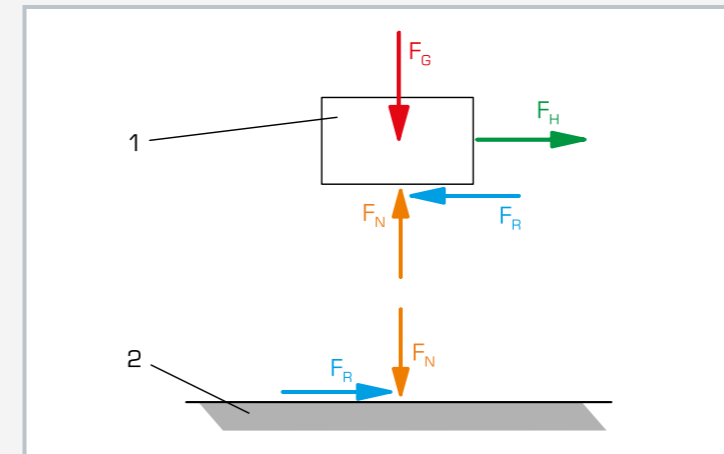
Toutes les pièces sont protégées et disposées de manière pratique dans un système de rangement.

Contenu didactique/essais

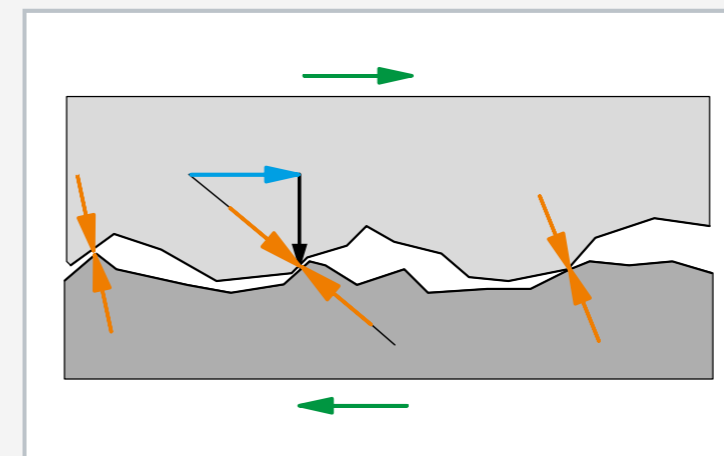
- différence entre le frottement statique et le frottement dynamique
- forces de frottement en fonction de
 - ▶ la force normale
 - ▶ la vitesse de glissement (vitesse relative des organes de frottement)
 - ▶ de la combinaison de matériaux
 - ▶ de la nature de la surface des organes de frottement
 - ▶ de la taille de la surface de contact
- effet slip-stick (alternance périodique d'adhérence et de glissement)
- détermination des coefficients de frottement



1 interrupteur de réseau, 2 chariot, 3 corps de frottement, 4 poids supplémentaire, 5 support de frottement, 6 vérin à amortissement pneumatique, 7 dynamomètre à cadran, 8 guidage, 9 moteur d'entraînement avec tambour à câbles



Forces créées avec le frottement dynamique: 1 corps de frottement, 2 supports de frottement; F_G : poids, F_H : force de traction, F_R : force de frottement, F_N : force normale



Surface irrégulière entre 2 corps qui glissent l'un contre l'autre: orange: force normale perpendiculaire à la surface de contact des deux corps, bleu: énième partie de la force de frottement, vert: sens de déplacement relatif entre les corps, noir: résultante de force normale et de force de frottement

Spécification

- [1] frottement mécanique entre 2 corps solides
- [2] corps de frottement stationnaire, support de frottement dans un chariot mobile
- [3] 2 corps de frottement avec chacun 2 surfaces différentes
- [4] 3 supports de frottement avec au total 4 surfaces différentes
- [5] entraînement du chariot via une poulie à câble et un moteur
- [6] 2 vitesses d'entraînement par un tambour à câbles gradué
- [7] dispositif de mesure des forces: dynamomètre et amortisseur pneumatique réglable
- [8] dispositif de mesure des forces réglable en hauteur
- [9] évolution des lignes d'action de la force de frottement et de la force de traction toujours parallèle
- [10] amortisseur pneumatique réglable – avec amortissement: mesure de l'une des forces de frottement centrales exemptes de défauts, sans amortissement: effets slip-stick mesurables
- [11] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Support de frottement

- Lxlxh: env. 175x80x6mm
- aluminium
- PVC / feutre
- verre

Corps de frottement

- Lxl: env. 50x40mm
- force de poids propre: env. 1N
- lisse / rugueux (Al), h=20mm
- laiton / feutre, h=5mm

Entraînement

- moteur synchrone
- vitesse de rotation: 100min⁻¹
- vitesses d'entraînement: 23,5cm/min, 47cm/min

Dynamomètre à cadran avec amortisseur

- plage de mesure: 0...2N, graduation: 0,05N

Poids: 8x 0,5N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

Poids: env. 7kg (appareil d'essai)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 3 supports de frottement
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 200

Principes du frottement mécanique



Description

■ corps de frottement fixe, support de frottement déplacé de manière uniforme

L'appareil permet d'effectuer des essais de base sur le frottement d'adhérence et le frottement de glissement. Deux corps solides sont déplacés l'un par rapport à l'autre de manière uniforme. On mesure les forces de frottement qui apparaissent. Le corps de frottement observé est relié à un dynamomètre à cadran. Il reste au repos.

Le support de frottement est entraîné par un moteur et glisse en dessous du corps de frottement. Deux vitesses de glissement peuvent être sélectionnées. Pour modifier la force normale, on utilise des poids supplémentaires.

Les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement.

Contenu didactique/essais

- différence entre le frottement d'adhérence et le frottement de glissement
- forces de frottement en fonction de
 - ▶ la force normale, la paire de matériaux, la taille de la surface de contact
 - ▶ la vitesse de glissement (vitesse relative des partenaires de frottement)
 - ▶ les caractéristiques de surface des partenaires de frottement
- déterm. des coefficients de frottement

Spécification

- [1] principes du frottement mécanique
- [2] corps de frottement stationnaire, dynamomètre à cadran stationnaire, support de frottement entraîné par moteur
- [3] 2 corps de frottement avec chacun 2 surfaces différentes
- [4] 2 supports de frottement avec au total 3 surfaces différentes
- [5] 2 vitesses d'entraînement du tambour de câbles
- [6] dynamomètre à cadran protégé contre les surcharges, avec cadran parfaitement lisible

Caractéristiques techniques

Supports de frottement

- Al / feutre, PVC

Corps de frottement

- lisse / rugueux (Al), laiton / feutre

Entraînement avec moteur synchrone

- vitesses d'entraînement: 23,5cm/min; 47cm/min

Dynamomètre à cadran

- plage de mesure: 0...2N; grad.: 0,1N

Poids: 8x 0,5N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase

120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option
Lxlxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

Poids: env. 4kg (appareil d'essai)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 2 supports de frottement
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 225

Frottement sur un plan incliné



Description

■ frottement entre des corps solides sur un plan incliné

■ principes du frottement mécanique

Les essais de frottement sur un plan incliné aident les élèves à comprendre les fondements du frottement mécanique.

Les principaux éléments du TM 225 sont une surface de glissement (le plan incliné) dont l'angle d'inclinaison est réglable et deux corps de frottement. On fait glisser un corps de frottement sur différentes sortes d'adhérence.

Dans un cas, le plan est incliné avec précaution jusqu'à ce que le corps de frottement commence à glisser vers le bas et que la force descendante est plus grande que la force de frottement statique.

Dans le deuxième essai, une charge agit comme force de traction sur le corps de frottement. La charge est augmentée progressivement jusqu'à ce que le corps de frottement commence à glisser avec un mouvement uniforme.

Contenu didactique/essais

- détermination des coefficients de frottement de différentes combinaisons de matériaux
- transition adhérence – glissement
- équilibre statique des forces au niveau du plan incliné
- détermination de l'angle d'inclinaison à partir duquel le glissement se produit (calcul et vérification au cours de l'essai)

Spécification

- [1] essais relatifs au frottement sur le plan incliné
- [2] plan incliné avec revêtement en plastique, articulation de pivotement avec graduation angulaire et poulie de renvoi montée sur roulement à billes
- [3] angle du plan réglable
- [4] 2 corps de frottement
- [5] jeu de poids gradués

Caractéristiques techniques

Corps de frottement

- Lxlxh: chacun 80x60x44mm
- force de poids propre: chacune 10N
- 1x acier / polypropylène
- 1x aluminium / laiton

Plan incliné

- longueur: 1000mm
- plage angulaire réglable: $\pm 45^\circ$

Poids

- 1x 1N (suspendu), 4x 0,1N, 1x 0,5N, 4x 1N, 1x 5N

Lxlxh: 1130x300x800mm

Poids: env. 35kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 2 corps de frottement
- 1 documentation didactique

TM 220

Entraînement par courroie et frottement de courroie



Contenu didactique/essais

- influence de l'angle d'enroulement, coefficient de frottement et force de câble (formule d'Eytelwein de frottement d'un câble)
- comparaison courroie plate – courroie trapézoïdale
- conséquences d'une gorge pour courroies trapézoïdales inadaptée

Description

- fonctionnement d'un entraînement par courroie
- frottement de différentes formes de courroies sur une poulie de courroies en métal

Les entraînements par courroie sont des éléments de machine et appartiennent, parmi les éléments de transmission et de transformation, à la catégorie des entraînements par traction. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulies. La transmission du mouvement s'effectue par l'intermédiaire de mécanismes de traction qui ne peuvent absorber que les forces de traction. Les courroies dentées et les chaînes transmettent les mouvements de manière mécanique.

Les mécanismes de traction tels que câbles, courroies plates et courroies

trapézoïdales, permettent au contraire une transmission par adhérence.

La transmission de la force périphérique entre la courroie et la poulie se fait au niveau d'un entraînement par courroie, selon le principe du frottement de câble. Le frottement de câble est dû à des forces de frottement d'adhérence tangentielles aux endroits où le câble est en contact avec la roue ou la poulie. Pour calculer le frottement de câble ou de courroie, on utilise la formule d'Eytelwein (frottement d'un câble).

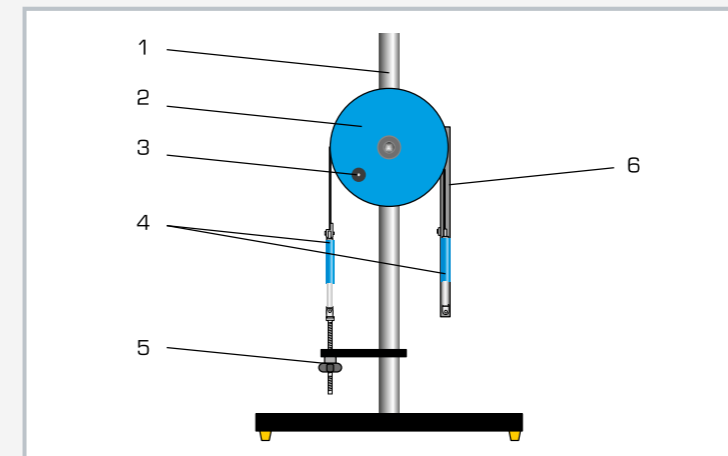
L'appareil d'essai TM 220 permet l'étude expérimentale des entraînements par courroie et du frottement de courroie. L'élément central de l'appareil est une poulie en fonte dont la périphérie présente des gorges pour courroies trapézoïdales et courroies plates.

La poulie est montée sur un roulement à

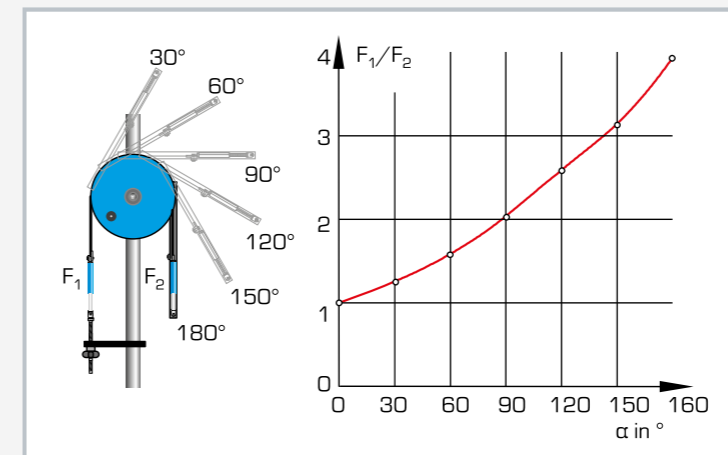
billes, et entraînée par une manivelle. Sa masse d'inertie favorise la régularité de la rotation. Les courroies frottent sur la poulie avec un angle d'enroulement compris entre 30° et 180°. L'angle d'enroulement peut être réglé par pas de 15°.

Deux balances à ressort mesurent les forces de traction aux extrémités des courroies. La pré-tension des courroies peut être ajustée avec précision à l'aide d'une tige filetée. Deux courroies plates constituées de matériaux différents, une courroie trapézoïdale et un câble sont compris dans la liste de livraison. Lors des essais, différentes formes et différents matériaux de courroie sont comparés, et l'influence de l'angle d'enroulement est étudiée.

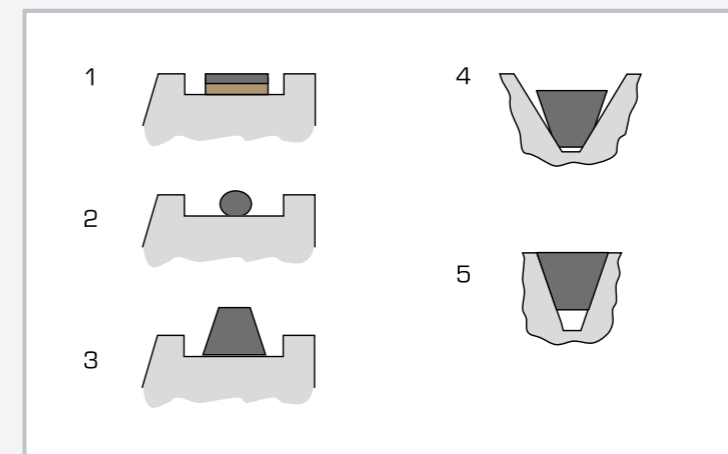
Il est possible par ailleurs, sur la courroie trapézoïdale, d'étudier l'influence de la forme de la gorge sur le coefficient de frottement.



1 colonne de support, 2 poulie de courroies, 3 manivelle, 4 balance à ressort, 5 ajustage de la pré-tension de la courroie, 6 support de courroies pivotable



Ajustage par pas de l'angle d'enroulement de 30° à 180°. Le diagramme représente le rapport des forces F_1 / F_2 en fonction de l'angle d'enroulement α .



Comparaison de différentes formes de courroies: 1 courroie plate, 2 câble, 3 courroie trapézoïdale, 4 position défavorable de la courroie dans la gorge, 5 position optimale de la courroie dans la gorge

Spécification

- [1] fonctionnement d'un entraînement par courroie
- [2] frottement de courroie et comparaison de différents matériaux et formes de courroies
- [3] poulie de courroies sur roulement à billes avec 3 gorges pour courroies différentes
- [4] 2 courroies plates en matériaux différents, une courroie trapézoïdale et 1 câble
- [5] angle d'enroulement des courroies 30°...180°, graduation 15°
- [6] mesure de la force avec 2 balances à ressort

Caractéristiques techniques

Courroies plates

- 1x cuir/polymide, 15x2,2mm, Extremultus LT10
- 1x polymide, 15x0,6mm, Extremultus TT2

Courroie trapézoïdale

- ISO 4184
- profil: SPZ
- 9,7x8,0mm, caoutchouc/tissu

Câble

- chanvre, Ø=3mm

Poulie de courroies

- Ø=300mm
- matériau: fonte grise

Dynamomètre: 100N ±1N

Lxhx: 700x350x1100mm

Poids: env. 47kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 courroies plates
- 1 câble
- 1 courroie trapézoïdale
- 2 dynamomètres
- 1 documentation didactique

2 Mécanique appliquée – résistance des matériaux



Introduction	
Aperçu Résistance des matériaux	078

Déformations élastiques	
Connaissances de base Déformations élastiques	080
SE 110.14 Courbe de flexion élastique d'une poutre	082
WP 950 Déformation de poutres droites	084
SE 110.47 Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique	086
SE 110.29 Torsion de barres	088
WP 100 Déformation de barres soumises à une flexion ou à une torsion	090
SE 110.20 Déformation des bâtis	092
FL 170 Déformation des poutres à axe courbe	094
SE 110.44 Déformation d'un treillis	096
TM 262 Pression de Hertz	098
TM 400 Loi de Hooke	100

Accessoires	
SE 112 Bâti de montage	101

Flambement et stabilité	
Connaissances de base Problème de stabilité: le flambement	102
SE 110.19 Étude de problèmes de stabilité simples	104
SE 110.57 Flambement de barres	106
WP 121 Démonstration des cas de flambement d'Euler	108
WP 120 Flambement de barres	110
Aperçu Accessoires pour WP 120	112

Sollicitations combinées	
FL 160 Flexion gauche	114
WP 130 Démonstration des hypothèses des contraintes	116

Analyse de contraintes expérimentelle	
Aperçu Analyse de contraintes expérimentelle: jauge de contrainte et photoélasticimétrie	118
FL 101 Kit d'application pour jauge de contrainte	120
FL 100 Système didactique pour jauge de contrainte	122
FL 102 Détermination du facteur k par les jauges de contrainte	124
Aperçu FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauges de contrainte	126
FL 152 Amplificateur de mesure multivoie	128
FL 120 Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme	130
FL 130 Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince	132
FL 140 Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse	134
FL 200 Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission	136
FL 210 Démonstration photoélastique	138
Aperçu FL 200 et FL 210: représentation des courbes des contraintes dans des modèles d'éléments de construction	140

Résistance des matériaux

La résistance des matériaux suppose la maîtrise du principe de la statique. En statique, l'idéalisation d'un corps réel en corps rigide permet de déterminer les forces externes et internes s'exerçant sur les structures porteuses uniquement à l'aide des conditions d'équilibre. Dans la pratique ultérieure du travail d'ingénieur, pour pouvoir calculer et prévoir avec exactitude le comportement mécanique d'un composant, c'est-à-dire sa solidité, sa rigidité, sa stabilité, sa résistance à la fatigue et sa déformabilité, les conditions d'équilibre ne suffisent pas. Des

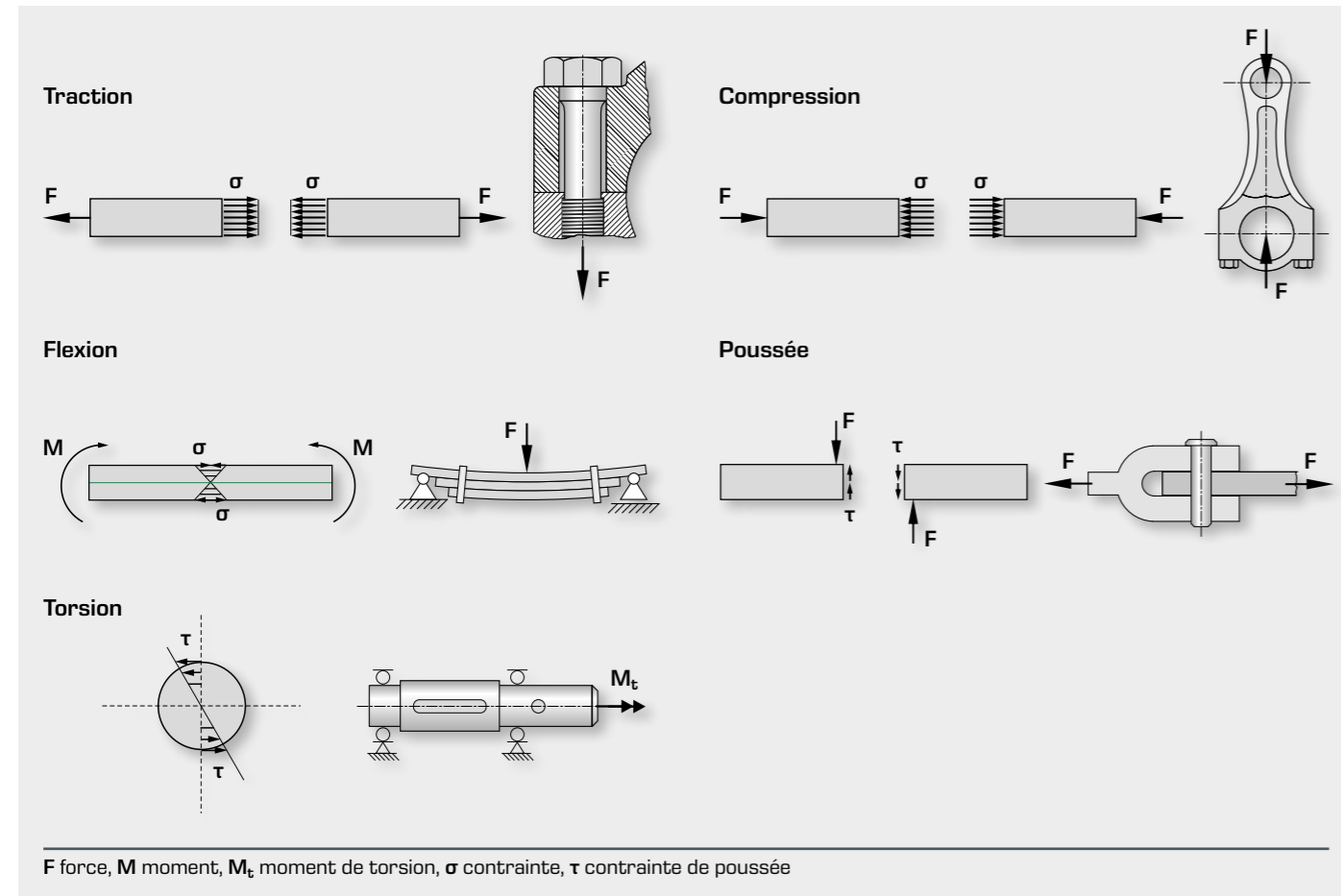
connaissances sur la déformabilité des corps matériels sont alors requises, indépendamment du matériau.

La résistance des matériaux étudie les effets des forces sur les corps déformables. Des paramètres dépendant des matériaux sont également observés. L'introduction à la résistance des matériaux clarifie donc les notions de contrainte et de déformation, et enseigne la loi de Hooke, qui sera ensuite appliquée aux problèmes de traction, de compression, de torsion et de flexion.

Termes fondamentaux de la résistance des matériaux

Types de sollicitations

Les composants peuvent être soumis à différents types de sollicitations: sollicitations de traction, de compression, de poussée et de cisaillement, de torsion, de flambement et sollicitation composée.



Contraintes mécaniques

Aussitôt que des charges, des moments ou des forces s'exercent de l'extérieur sur un composant, des flux de forces apparaissent à l'intérieur de ce dernier. La répartition de ces différentes

charges est qualifiée de contrainte mécanique. La contrainte mécanique est par conséquent une force qui se rapporte à la surface. On distingue alors deux cas:

Action de la force perpendiculaire à la surface de coupe, contrainte normale σ

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Action de la force parallèle à la surface de coupe, contrainte de cisaillement τ

$$\tau = \frac{F}{A}$$

F force, A surface de coupe, σ contrainte, τ contrainte de cisaillement

Déformation élastique, loi d'élasticité

Sous l'action de forces, les pièces de machine et les composants se déforment de manière élastique. Tant que la charge est insuffisante, la déformation reste exclusivement élastique. La loi

d'élasticité décrit la déformation élastique des corps solides lorsque cette déformation est proportionnelle à la force exercée.

Méthodes énergétiques

Dans les méthodes énergétiques, les considérations géométriques jouent un rôle secondaire. Au lieu des conditions d'équilibre utilisées jusqu'alors, on détermine ici le travail généré par les forces externes lors de la déformation d'un système, la forme de cette énergie et l'endroit où ce travail est stocké.

Les méthodes énergétiques en résistance des matériaux reposent sur l'équation de conservation de l'énergie, et utilisent le principe selon lequel toute énergie transférée depuis l'extérieur à un corps ou à un système est transformée en énergie interne sous la forme par exemple d'une déformation, d'une modification de la vitesse ou de chaleur.

Pour le calcul général de systèmes et l'étude de stabilité de structures élastiques, on utilise différentes méthodes énergétiques: p.ex. le principe des déplacements virtuels; le principe des forces virtuelles, les théorèmes de Maxwell-Betti ou le théorème de Castigliano.

Le point de départ de toutes les méthodes énergétiques est le **principe du travail virtuel**. Ce dernier exprime une condition d'équilibre; il est formulé de la façon suivante: Lorsqu'un système mécanique est soumis à l'action de forces externes et internes en équilibre, la somme de tout le travail virtuel généré par des forces externes et internes et n'importe quels déplacements virtuels est égale à zéro.

Principe du travail virtuel

$$\delta W = F \cdot \delta x = 0; \delta W = M \cdot \delta \phi = 0$$

$$\delta W = \sum \delta W = \sum F \cdot \delta x = 0$$

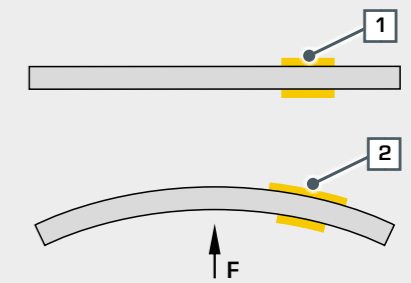
$$\delta W = \sum \delta W = \sum M \cdot \delta \phi = 0$$

δW travail virtuel,
 δx déplacement virtuel,
 $\delta \phi$ angle de torsion virtuel,
M moment, F force

Analyse expérimentale des contraintes pour la démonstration des contraintes

Jauge de contrainte

L'analyse expérimentale des contraintes se sert de la contrainte mécanique présente dans un composant soumis à une charge pour étudier la sollicitation du matériau. Une méthode de détermination expérimentale de la contrainte mécanique se base sur la relation entre la contrainte et la déformation qui dépend d'elle. Cette déformation, ou allongement, se produit également à la surface des composants, ce qui permet de la mesurer. Le principe de la mesure de la déformation est une branche importante de l'analyse des contraintes.

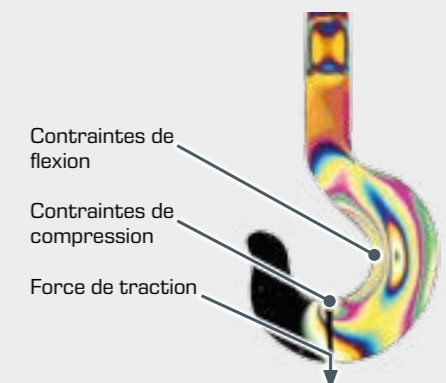


F force, 1 jauge de contrainte avec composant non soumis à une charge, 2 jauge de contrainte avec composant soumis à une charge

Photoélasticimétrie (polariscope de lumière transmise)

La photoélasticimétrie est une méthode optique de détermination expérimentale de la répartition des contraintes dans des corps de remplacement transparents et en général plats. La photoélasticimétrie offre une image complète du champ de contraintes. Elle permet ainsi de visualiser de manière claire les zones ayant une concentration de contraintes élevée avec la déformation qui en résulte, ainsi que les zones où les contraintes sont plus faibles.

La photoélasticimétrie est une méthode éprouvée de vérification d'observations de contraintes réalisées de manière analytique et numérique (p.ex.: MÉF). Elle est utilisée aussi bien pour effectuer des mesures quantitatives, que pour démontrer des états de contrainte complexes.



Connaissances de base

Déformations élastiques

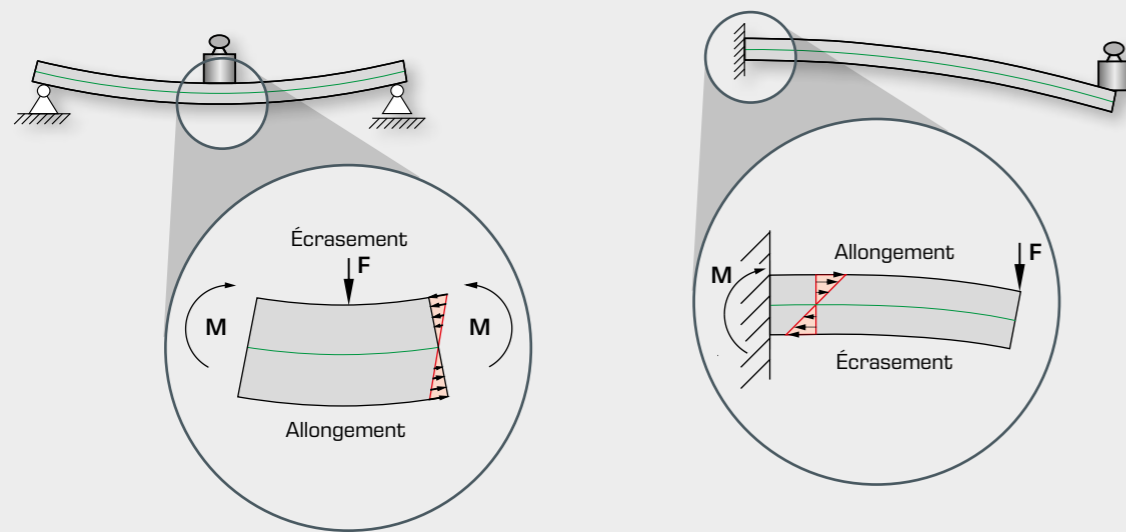
L'application de forces externes sollicite les composants de différentes manières. La sollicitation provoque l'apparition de contraintes dans les composants. La grille du matériau est déformée (p.ex. comprimée, étendue, etc.) sous l'action des forces. Cette sollicitation entraîne des déformations du volume

Déformation des poutres

Le fléchissement et la force portante des poutres ont une grande importance dans la pratique, dans la construction de bâtiments, de ponts, de machines ou de véhicules. Le fléchisse-

ment dépend des dimensions, des caractéristiques du matériau et avant tout du type d'appui des poutres à leurs extrémités.

ment dépend des dimensions, des caractéristiques du matériau et avant tout du type d'appui des poutres à leurs extrémités.

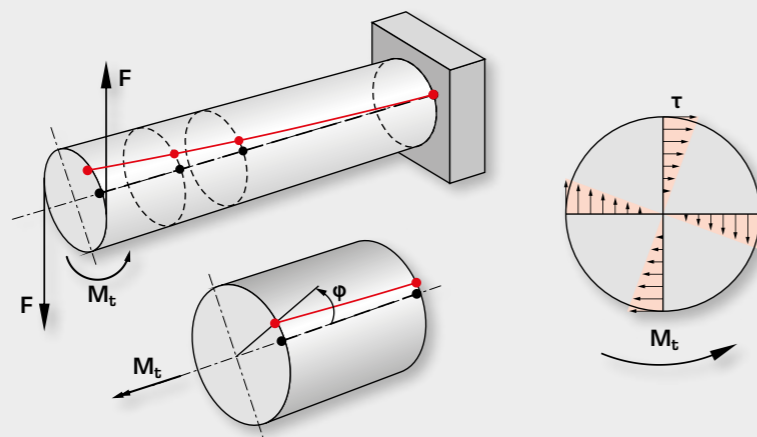


Une sollicitation en traction entraîne un allongement des fibres de bordure; une sollicitation en compression entraîne un écrasement des fibres de bordure; la fibre neutre (en vert) passe par le centre géométrique et n'est ni allongée, ni écrasée.

M moment, F force

Déformation de barres suite à un moment de torsion

En cas de sollicitation par un moment de torsion, les barres se tordent autour de leur axe. La déformation de torsion est aussi décrite par son angle de torsion φ . Selon la loi de Hooke, l'angle de torsion φ est proportionnel au moment de torsion extérieur.



La sollicitation en torsion entraîne une déformation de la barre.

M_t moment de torsion, F force, φ angle de torsion, τ contrainte de cisaillement

Détermination du comportement élastique

Il existe une proportionnalité directe entre la force exercée et la déformation. Pour déterminer l'allongement ou la déformation élastique, on a donc besoin, en plus de la contrainte, de la valeur caractéristique du matériau. Cette valeur caractéristique du matériau, appelée aussi module d'élasticité, décrit le rapport entre contrainte et allongement lors de la déformation d'un corps solide ayant un comportement élastique linéaire. Il est possible de calculer le module d'élasticité à partir des valeurs

de mesure de l'essai de traction ou de le déterminer graphiquement à partir du diagramme contrainte-déformation (cf. chapitre 6, essai des matériaux).

En résistance des matériaux, on considère la zone élastique linéaire, étant donné que la déformation du matériau dans cette zone est réversible. Pour le dimensionnement de structures porteuses ou d'ouvrages, il est recommandé de ne pas dépasser la zone élastique linéaire.

Zone élastique du diagramme contrainte-déformation

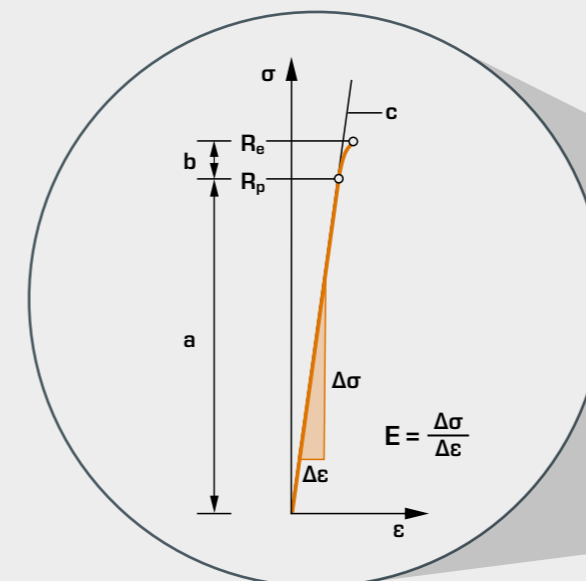
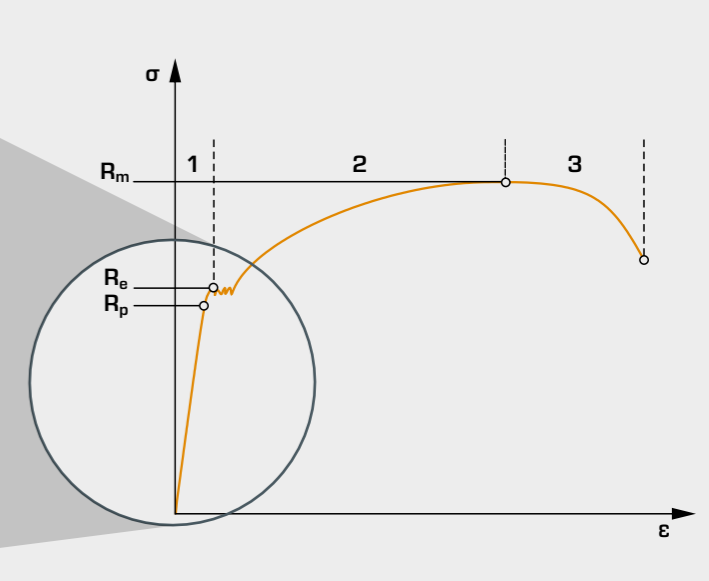


Diagramme contrainte-déformation



La zone élastique est composée d'une partie élastique linéaire **a** dans laquelle l'allongement est proportionnel à la contrainte et est réversible, et d'une partie élastique non linéaire **b** dans laquelle l'allongement **n'est pas** proportionnel à la contrainte mais est néanmoins réversible. Dans la partie plastique, l'allongement n'est pas réversible et la déformation reste, même lorsqu'il n'y a plus de charge exercée.

σ contrainte, ϵ allongement, E module d'élasticité, R_p limite de proportionnalité, R_e limite d'élasticité, R_m résistance à la traction, 1 zone élastique, 2 zone plastique, 3 striction jusqu'à la rupture, a partie élastique linéaire, b partie élastique non linéaire, c droite de Hooke

Le calcul des déformations sous l'effet d'une charge est décrit par la loi d'élasticité de Hooke

$$\sigma = E \cdot \epsilon = \frac{F}{A}$$

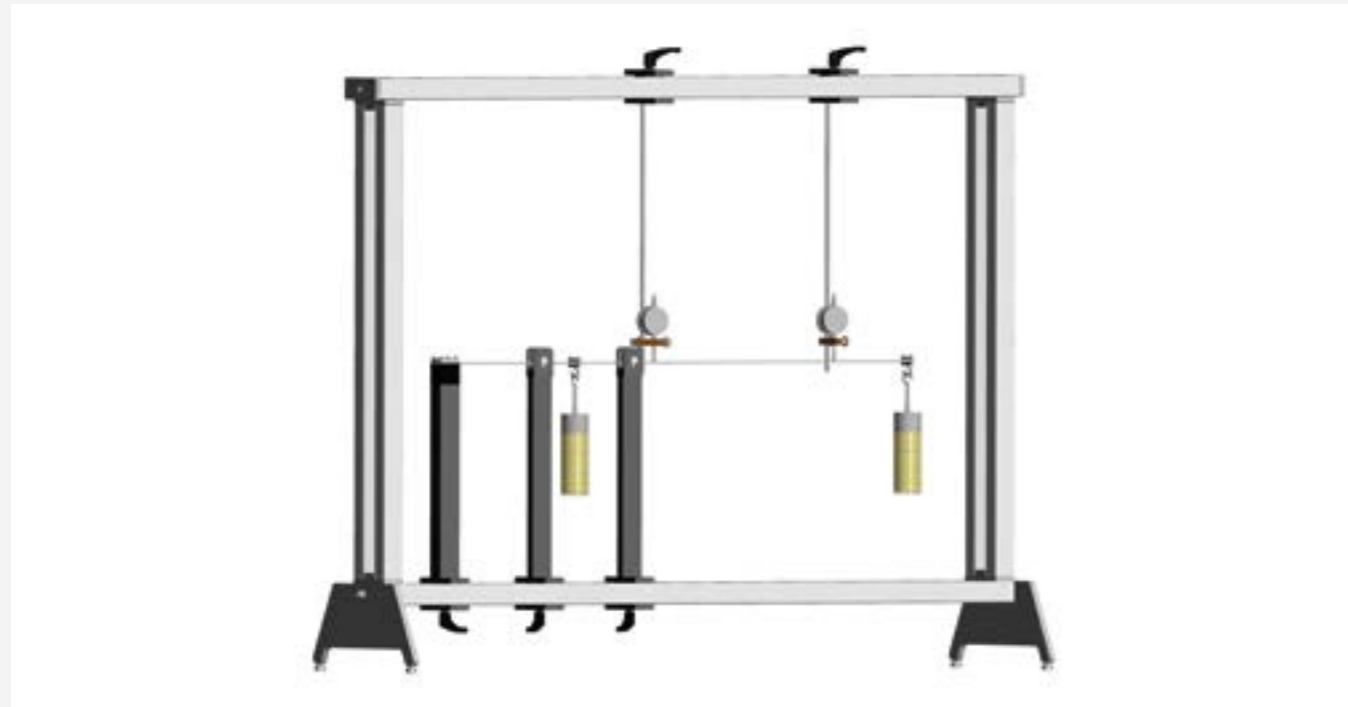
σ contrainte, E module d'élasticité, ϵ allongement, F force, A surface

Module d'élasticité de différents matériaux

Matériau	E in N/mm ²
Acier	$2,1 \cdot 10^5$
Aluminium	$0,7 \cdot 10^5$
Béton	$0,3 \cdot 10^5$
Bois dans le sens de la fibre	$0,7...1,6 \cdot 10^4$
Fonte de fer	$1,0 \cdot 10^5$
Cuivre	$1,2 \cdot 10^5$
Laiton	$1,0 \cdot 10^5$

SE 110.14

Courbe de flexion élastique d'une poutre



L'illustration montre le SE 110.14 dans le bâti SE 112.

Description

■ poutre en différents matériaux: acier, laiton et aluminium

Les poutres sont des éléments de construction importants des machines et des bâtiments, susceptibles de se déformer lorsqu'elles sont soumises à une charge. Sur les poutres, la charge est appliquée dans la direction perpendiculaire à l'axe et entraîne leur fléchissement. Pour déterminer le fléchissement de poutres dans la zone où le comportement du matériau est élastique linéaire, on utilise la courbe de flexion élastique également appelée ligne élastique. En utilisant les coefficients d'influence et la loi de transposition de Maxwell-Betti, on peut calculer le fléchissement de la poutre à n'importe quel endroit de la poutre.

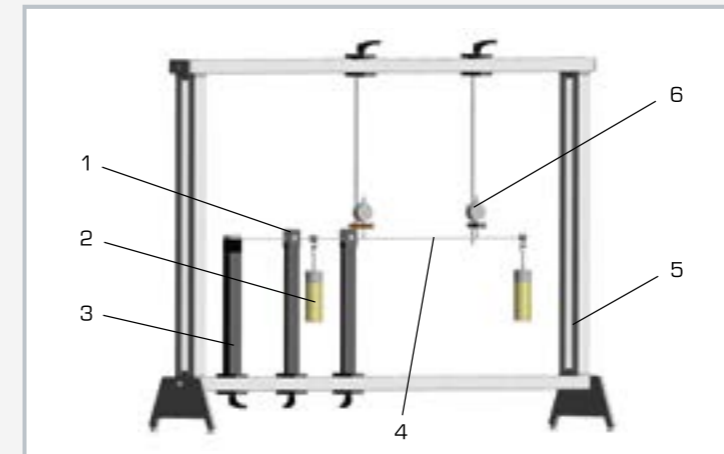
Le SE 110.14 permet de déterminer la déformation d'une poutre en flexion. On étudie pour cela une poutre avec des charges différentes, des conditions d'appui différentes et une surdétermination statique. La courbe de flexion élastique est déterminée par des calculs et vérifiée de manière expérimentale.

Le montage expérimental comprend trois poutres composées de matériaux différents. Deux appuis articulés et un appui fixe avec dispositif de serrage sont à disposition. Les comparateurs à cadran enregistrent les déformations conséquentes de la poutre.

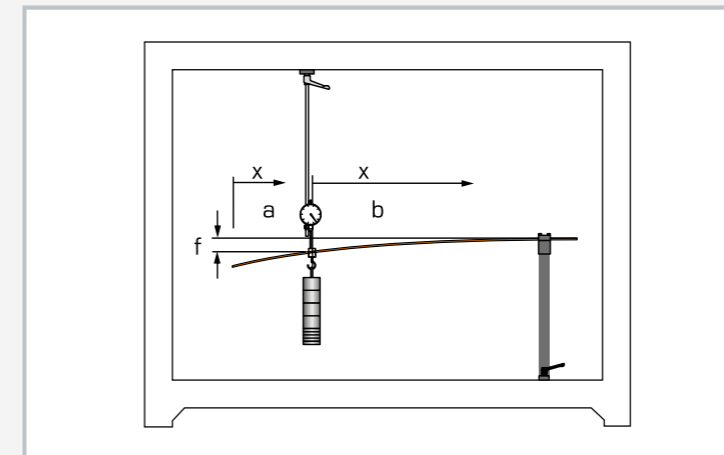
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est réalisé dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

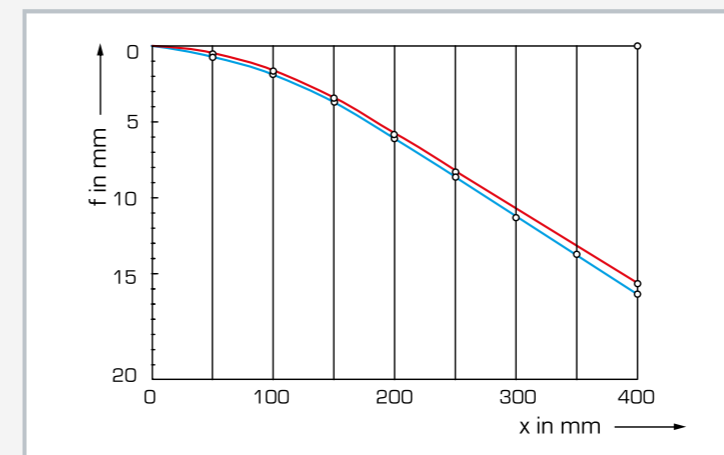
- courbe de flexion élastique avec différentes charges
- courbe de flexion élastique avec différentes conditions d'appui
- démonstration de l'équation de Maxwell-Betti
- courbe de flexion et forces d'appui pour des systèmes hyperstatiques



1 appui articulé, 2 poids, 3 appui fixe avec dispositif de serrage, 4 poutre, 5 bâti SE 112, 6 comparateur à cadran



Flexion sur la poutre en porte-à-faux: f abaissement de l'extrémité de la poutre, x écart, a zone sans charge avec courbe de flexion élastique linéaire, b zone avec charge



Courbe de flexion élastique de la poutre en porte-à-faux: f abaissement, x écart; en rouge: valeurs calculées, en bleu: valeurs mesurées

Spécification

- [1] détermination de la courbe de flexion élastique
- [2] poutres en différents matériaux: acier, laiton, aluminium
- [3] 2 appuis articulés
- [4] 1 appui fixe avec dispositif de serrage
- [5] comparateurs à cadran pour l'enregistrement des déformations de la poutre
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage de l'essai dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Poutre

- acier, Lxlxh: 1000x20x3mm
- laiton, Lxlxh: 1000x20x6mm
- aluminium, Lxlxh: 1000x20x6mm

Poids

- 2x 1N (suspente)
- 10x 1N
- 6x 5N

Plages de mesure

- déplacement: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

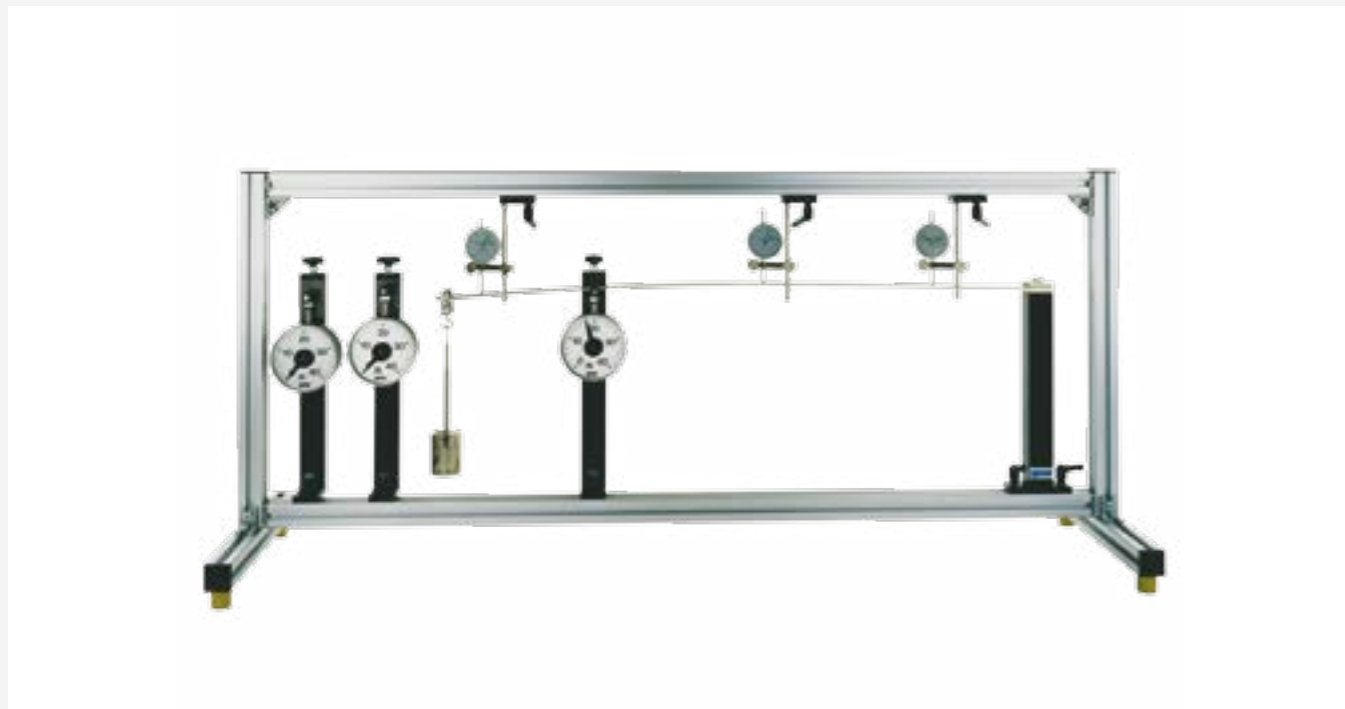
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 42kg (total)

Liste de livraison

- 3 poutres
- 2 appuis articulés
- 1 appui fixe avec dispositif de serrage
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec protection en mousse
- 1 documentation didactique

WP 950

Déformation de poutres droites



Description

- déformation d'une poutre sur deux appuis ou plus soumise à des charges ponctuelles (p. ex. poutre à travée unique)
- déformation d'une poutre en porte-à-faux soumise à des charges ponctuelles
- systèmes isostatiques ou hyperstatiques

Les poutres sont des éléments de la construction de machine et du bâtiment. Une poutre est un composant en forme de barre pour lequel les dimensions de section sont sensiblement inférieures à la longueur et qui est chargée en longueur et transversalement par rapport à son axe longitudinal. La charge appliquée transversalement par rapport à l'axe longitudinal génère une déformation de la poutre, appelée flexion. De par ses dimensions, la poutre est considérée comme un modèle unidimensionnel.

La résistance des matériaux permet de traiter les contraintes et les déformations consécutives aux charges exercées sur un composant. L'utilisation de la poutre droite permet de dispenser de manière appropriée les bases de la résistance des matériaux.

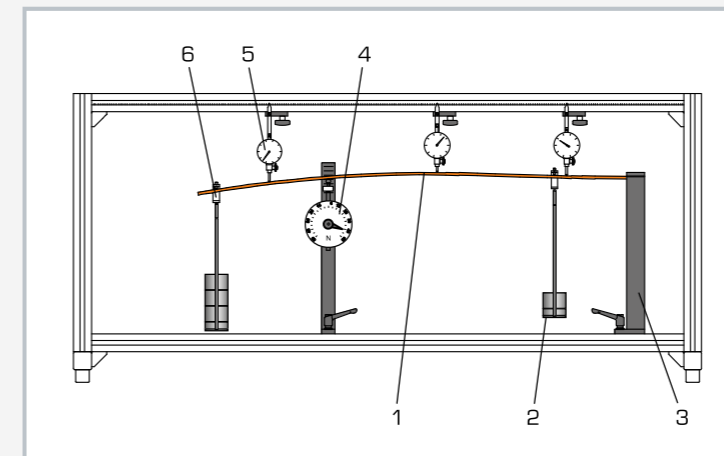
La poutre étudiée dans le WP 950 peut être montée de différentes manières. Cela permet de générer des systèmes isostatiques et hyperstatiques pouvant être chargés de différents poids. Les points d'application de la charge peuvent être déplacés. Les déformations qui en résultent sont enregistrées par trois comparateurs à cadran. Trois appuis articulés avec dynamomètres à cadran intégrés indiquent directement les réactions des paliers. Les appuis articulés sont réglables en hauteur afin de compenser l'influence du propre poids de la poutre étudiée. Un 4^{ème} appui sert à l'encastrement de la poutre.

Cinq poutres de différentes épaisseurs ou composées de différents matériaux illustrent l'influence de la géométrie et du module d'élasticité sur la déformation de la poutre soumise à une charge.

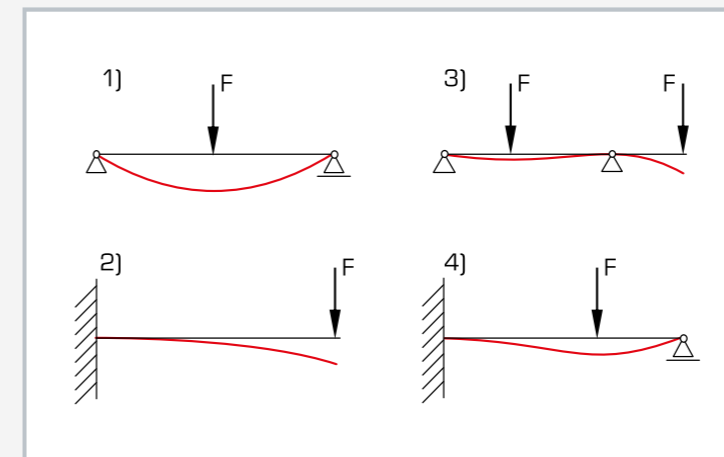
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans un bâti.

Contenu didactique/essais

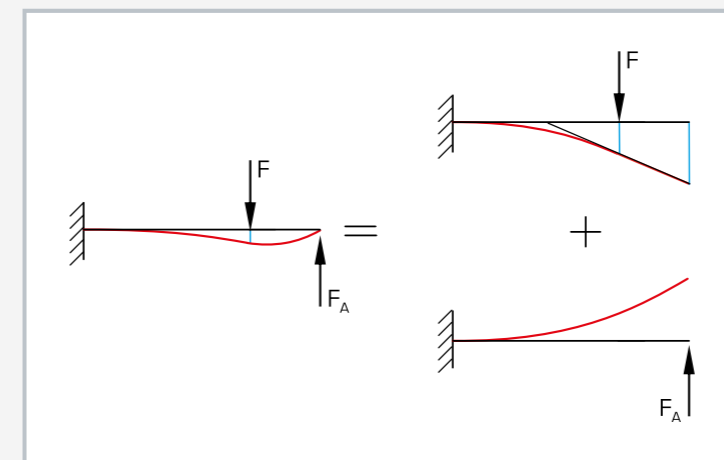
- étude de la flexion pour les poutres droites isostatiques et hyperstatiques
 - ▶ poutre en porte-à-faux
 - ▶ poutres à travée unique, à 2 travées ou à 3 travées
 - ▶ établissement de l'équation différentielle de la courbe de flexion élastique
- flexion au niveau de la poutre en porte-à-faux
 - ▶ mesure de la dénivellation au niveau du point d'application des forces
- flexion au niveau de la poutre à 2 travées sur les 3 appuis
 - ▶ mesure des réactions d'appui
 - ▶ mesure des déformations
- influence du matériau (module d'élasticité) et de la section transversale de la poutre (géométrie) sur la courbe de flexion élastique
- coefficients d'influence et théorème de Maxwell-Betti
- application du principe du travail virtuel sur une poutre isostatique et hyperstatique
- détermination des lignes d'influence
 - ▶ par calcul
 - ▶ qualitativement via la méthode des forces (Müller-Breslau)



1 poutre, 2 poids, 3 appui avec encastrement, 4 appui avec dynamomètre à cadran, 5 comparateur à cadran, 6 crochet mobile



Courbes de flexion élastique pour les cas isostatiques (gauche) et hyperstatiques (droite): 1 poutre à travée unique avec palier de butée et palier libre, 2 poutre encastrée, 3 poutre avec 2 paliers de butée, 4 poutre encastrée avec appui



Principe de superposition: la courbe de flexion élastique globale de la poutre hyperstatique (gauche) est formée par la somme des déformations de la force extérieure et de la force d'appui (droite)

Spécification

- [1] courbes de flexion élastique des poutres isostatiques et hyperstatiques avec différentes conditions d'encastrement
- [2] 3 poutres en acier avec différentes sections
- [3] 1 poutre en laiton et en aluminium
- [4] 3 appuis articulés réglables en hauteur avec dynamomètre à cadran
- [5] 1 appui avec encastrement
- [6] possibilité de tarage des dynamomètres
- [7] 3 comparateurs à cadran servant à enregistrer les déformations
- [8] poids avec crochets mobiles
- [9] bâti profilé en aluminium anodisé servant à accueillir les montages expérimentaux
- [10] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poutre

- longueur: 1000mm
- sections: 3x20mm (acier), 4x20mm (acier), 6x20mm (acier, laiton, aluminium)

Ouverture du bâti: 1320x480mm

Poids

- 4x 2,5N (suspentes)
- 4x 2,5N
- 16x 5N

Plages de mesure

- force: ±50N, graduation: 1N
- déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 1400x400x630mm

Poids: env. 37kg

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 5 poutres
- 4 appuis
- 1 jeu de poids
- 3 comparateurs à cadran
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.47**Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique**

L'illustration montre le SE 110.47 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- comparaison des différentes méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique: travail virtuel, analogie de Mohr
- systèmes isostatiques et hyperstatiques
- conditions de charge possibles: charge ponctuelle ou moment de flexion

Les poutres sont des éléments importants de la construction mécanique et du bâtiment pouvant se déformer lorsqu'ils sont soumis à une charge. Avec une poutre simple, il est possible de prédire ces déformations à l'aide de différentes méthodes, p. ex. selon le principe du travail virtuel.

La poutre étudiée dans le SE 110.47 peut être montée de différentes manières. Deux appuis avec dispositif d'encastrement et un appui articulé avec dynamomètre à cadran sont disponibles afin de réaliser des systèmes isostatiques ou hyperstatiques. Les deux appuis avec dispositif d'encastrement sont pourvus de comparateurs à cadran et peuvent également être utilisés comme appuis articulés.

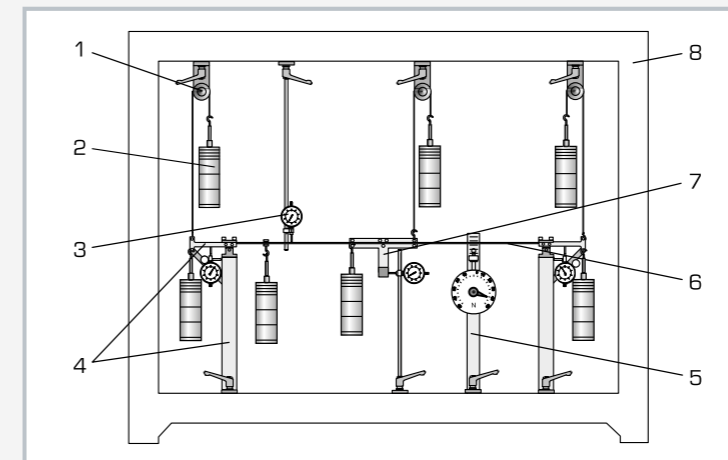
Ces comparateurs à cadran servent à déterminer l'angle d'inclinaison de la poutre sur l'appui. Un 3^{ème} comparateur à cadran enregistre le fléchissement de la poutre à l'endroit défini. De plus, un dispositif génère un moment de flexion à un endroit défini de la poutre. Un quatrième comparateur à cadran enregistre l'angle d'inclinaison du dispositif.

La poutre est chargée de poids (charge ponctuelle et couple de forces pour générer le moment de flexion). Le couple d'encastrement sur les appuis peut être déterminé à l'aide de poids.

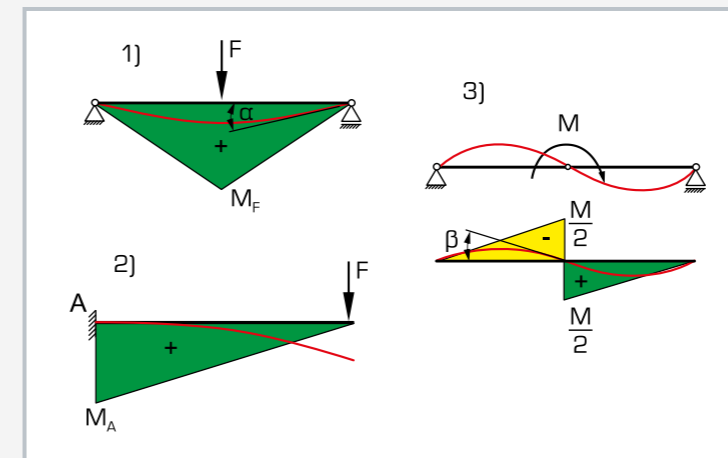
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

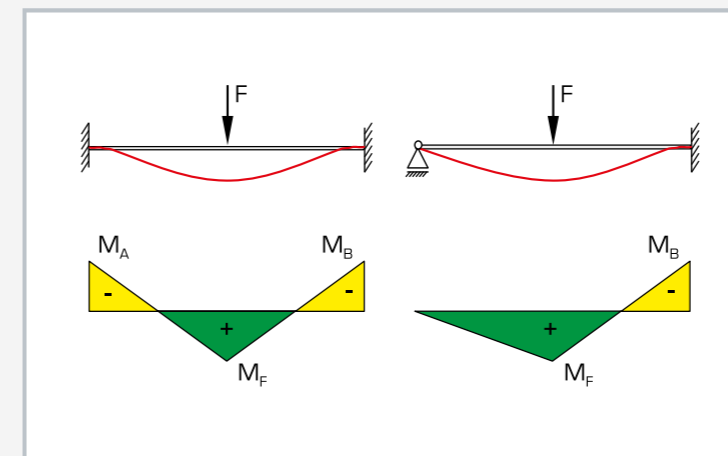
- courbes de flexion élastique pour poutres isostatiques ou hyperstatiques soumises à une charge
- détermination de la courbe de flexion élastique d'une poutre à l'aide des méthodes suivantes
 - ▶ principe du travail virtuel (calcul)
 - ▶ analogie de Mohr (méthode de Mohr concernant le diagramme des moments; approche graphique)
- application du principe de superposition de la mécanique
- détermination des éléments suivants
 - ▶ fléchissement maximal de la poutre
 - ▶ inclinaison de la poutre
- comparaison entre les valeurs calculées et mesurées pour l'angle d'inclinaison et le fléchissement



1 poulie de renvoi avec fixation, 2 poids, 3 comparateur à cadran, 4 appui avec dispositif d'encastrement et comparateur à cadran, 5 appui avec dynamomètre à cadran, 6 poutre, 7 dispositif de génération du moment de flexion, 8 bâti SE 112



Courbe des moments de flexion (verte / jaune) et courbe de flexion élastique (rouge) pour les poutres isostatiques: 1 poutre à travée unique avec charge ponctuelle centrale, 2 poutre en porte-à-faux avec charge ponctuelle, 3 poutre à travée unique avec moment de flexion comme charge; M_A moment de flexion sur l'appui A, M_F moment de flexion résultant de la force F, M moment de flexion, α , β angle d'inclinaison



Courbe des moments de flexion (verte / jaune) et courbe de flexion élastique (rouge) pour les poutres hyperstatiques avec charge ponctuelle centrale

Spécification

- [1] comparaison des différentes méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique
- [2] poutre isostatique ou hyperstatique
- [3] 2 appuis avec dispositif d'encastrement, comme appui articulé avec mesure d'inclinaison ou encastrement
- [4] 1 appui articulé avec dynamomètre à cadran
- [5] dispositif de génération d'un moment de flexion
- [6] comparateur à cadran avec génération du moment pour mesurer l'angle d'inclinaison
- [7] comparateur à cadran servant à enregistrer les déformations de la poutre
- [8] poids pour le chargement de la poutre à l'aide de charges ponctuelles ou moment
- [9] poids pour la détermination des moments d'encastrement sur les appuis avec dispositif d'encastrement
- [10] système de rangement pour les pièces
- [11] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques**Poutre**

- longueur: 1000mm
- section: 20x4mm
- matériau: acier

Poids

- 7x 1N (suspentes)
- 28x 1N
- 21x 5N

Plages de mesure

- force: ± 50 N, graduation: 1N
- déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

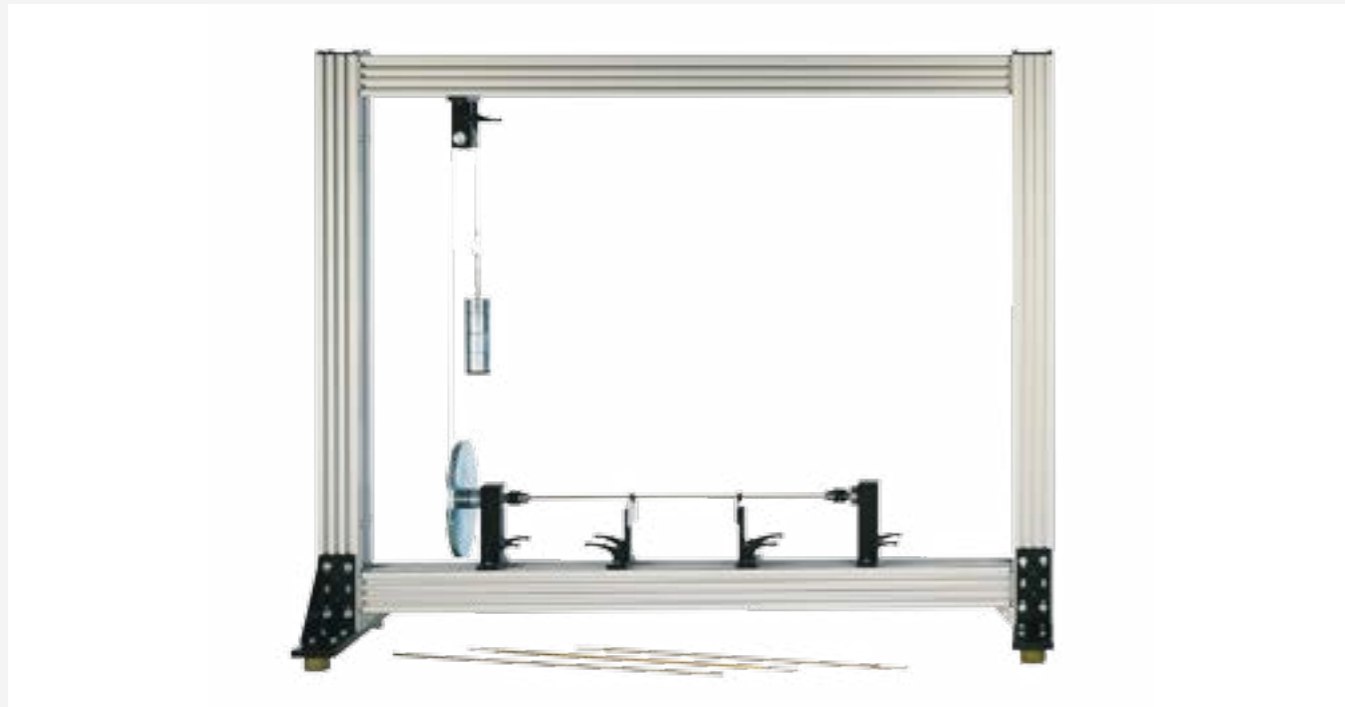
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 42kg (total)

Liste de livraison

- 3 poutres
- 2 appuis avec dispositif d'encastrement
- 1 appui avec dynamomètre à cadran
- 1 dispositif de génération du moment de flexion
- 1 jeu de poids
- 3 poulies de renvoi avec fixation
- 3 câbles
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.29

Torsion de barres



L'illustration montre le SE 110.29 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- torsion élastique d'une barre soumise à un moment de torsion
- barre ronde, tube, tube fendu en longueur et tube rectangulaire comme barres d'essai
- affichage de l'angle de torsion à deux endroits de la barre

La torsion apparaît avant tout au niveau des axes et des arbres d'entraînement des véhicules et des machines. Les sections de l'arbre sont poussées l'une contre l'autre autour de l'axe longitudinal en raison des couples de rotation de l'arbre. Dans un arbre, les cercles conservent leur forme arrondie sous l'effet de la torsion des sections circulaires. Les surfaces de section restent plates, aucun gauchissement n'est constaté.

En cas de faibles torsions, la longueur et le rayon restent inchangés. Les lignes droites situées sur le périmètre extérieur de l'arbre et parallèles à l'axe sont appelées hélices. Des sections non circulaires entraînent généralement un gauchissement.

Le SE 110.29 étudie la torsion d'une barre soumise à un moment de torsion. La barre est encastrée dans deux supports coulissants avec mandrin.

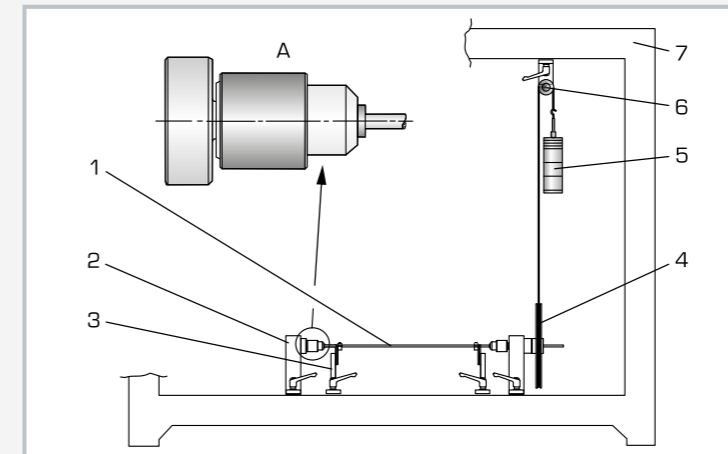
Le moment de torsion d'application est généré par un disque circulaire, une poulie de renvoi et des poids. La longueur d'encastrement et le moment de torsion peuvent varier. Les torsions résultantes sont lues par des indicateurs d'angle en deux endroits de la barre.

L'utilisation de la barre ronde permet de dispenser les bases de la torsion élastique. Trois autres barres sont disponibles pour étudier les cas particuliers: deux profils fermés à paroi mince (tube, tube rectangulaire) et un tube fendu en longueur (profil ouvert à paroi mince).

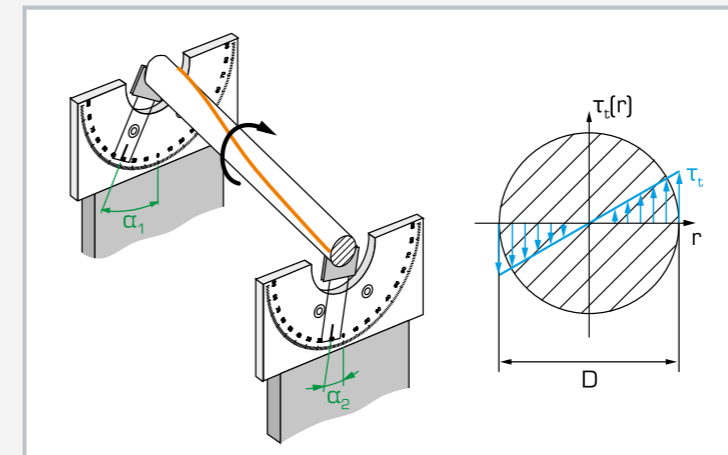
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

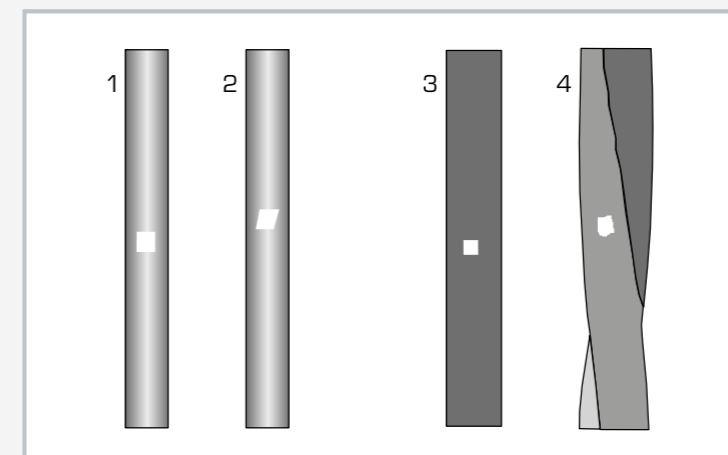
- torsion d'une barre
- module de cisaillement et moment d'inertie polaire
- angle de torsion en fonction de la longueur d'encastrement
- angle de torsion en fonction du moment de torsion
- influence de la rigidité en torsion sur la torsion
 - ▶ barre ronde avec section pleine
 - ▶ tube
 - ▶ tube, fendu en longueur
 - ▶ tube rectangulaire
- calcul de l'angle de torsion
- comparaison de l'angle de torsion calculé et mesuré



1 barre, 2 support avec mandrin, 3 indicateur d'angle, 4 disque de déclenchement du moment, 5 poids, 6 poulie de renvoi avec fixation, 7 bâti SE 112, A: mandrin



Torsion d'une barre et mesure des angles α_1 et α_2 , à droite: contraintes de cisaillement sur la section circulaire



Déformation d'un élément de surface rectangulaire (blanc): 1 barre ronde déformée, 2 barre ronde tordue, 3 barre rectangulaire non déformée, 4 barre rectangulaire tordue

Spécification

- [1] torsion élastique de barres
- [2] 2 supports mobiles avec mandrin pour la fixation des barres, 1 palier de butée et 1 palier libre
- [3] 2 indicateurs d'angle mobiles reliés à la barre
- [4] 4 barres: barre ronde avec section pleine, tube, tube fendu en longueur, tube rectangulaire
- [5] chargement de la barre à l'aide d'un disque de masse, d'une poulie de renvoi et des poids
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

- 4 barres en laiton, $L=695\text{mm}$
- barre ronde, $\varnothing=6\text{mm}$
- tube, tube fendu $\varnothing=6\text{mm}$, épaisseur de paroi: 1 mm, largeur de fente: 0,3mm
- tube rectangulaire $l \times h$: 6mm, épaisseur de paroi: 1 mm

Disque servant au déclenchement de la charge
■ rayon d'action: 110mm

Indicateur d'angle
■ plage de mesure: $\pm 90^\circ$
■ graduation: 1°

Poids
■ 1x 1N (suspente)
■ 4x 1N
■ 3x 5N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 27kg (total)

Liste de livraison

- 2 supports avec mandrin
- 2 indicateurs d'angle
- 4 barres
- 1 poulie de renvoi avec fixation
- 1 câble
- 1 jeu de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

WP 100

Déformation de barres soumises à une flexion ou à une torsion



Description

- déformation élastique de poutres isostatiques et hyperstatiques soumises à une charge de flexion
- torsion élastique de barres rondes soumises à un moment de torsion
- influence du matériau, de la section et de la longueur d'encastrement sur les déformations

La flexion et la torsion constituent des charges typiques pour les composants. Les contraintes et déformations qui en résultent peuvent entraîner une défaillance du composant. Différents facteurs jouent ici un rôle, p. ex. le matériau, la section, la longueur d'encastrement et le type d'appui.

Le WP 100 étudie l'influence de ces facteurs sur la déformation d'une barre soumise à une charge de flexion ou à un moment de torsion. Un jeu de barres d'essai est assemblé afin de pouvoir comparer directement les résultats de mesure. La barre étudiée est fixée sur deux supports mobiles et chargée des poids. Les déformations qui en résultent sont enregistrées par un comparateur à cadran.

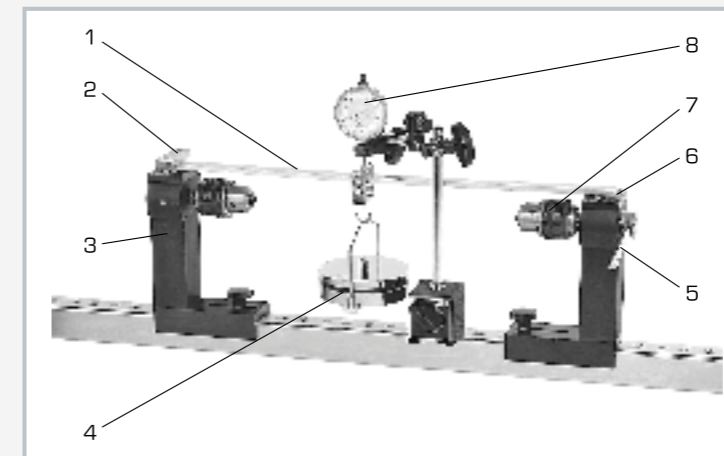
Les supports contiennent des mandrins permettant de fixer les barres de torsion et des appuis pour les barres lors de l'essai de flexion. Les appuis offrent différentes possibilités d'encastrement permettant d'étudier les montages isostatiques ou hyperstatiques.

Le moment de torsion est déclenché à l'aide d'un dispositif sur un support. Le point d'application de la charge utilisé pour générer le moment de flexion peut être déplacé.

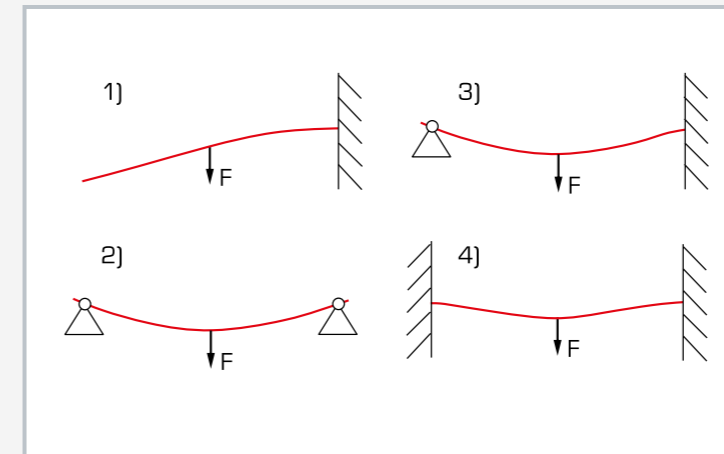
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté sur le bâti.

Contenu didactique/essais

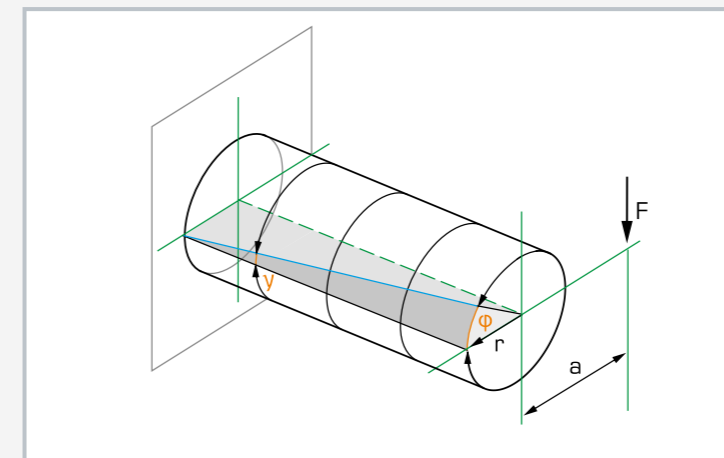
- essais de flexion
 - ▶ détermination du module d'élasticité
 - ▶ systèmes isostatiques (poutre sur 2 supports; poutre en porte-à-faux)
 - ▶ systèmes hyperstatiques (poutre à double encastrement)
 - ▶ déformation d'une poutre en fonction de matériau géométrie (largeur du profil, hauteur du profil, longueur) type et espacement de l'appui
 - ▶ établissement des rapports proportionnels pour la déformation
- essais de torsion
 - ▶ détermination du module de cisaillement de différents matériaux
 - ▶ angle de torsion en fonction de longueur d'encastrement, diamètre de la barre
 - ▶ établissement des rapports proportionnels pour l'angle de torsion



1 poutre, 2 encastrement pour essai de flexion, 3 support, 4 poids, 5 dispositif de déclenchement du moment de torsion lors de l'essai de torsion, 6 appui pour l'essai de flexion, 7 mandrin pour l'essai de torsion, 8 comparateur à cadran



Flexion sur le système isostatique (gauche) et sur le système hyperstatique (droite): 1 poutre en porte-à-faux, 2 poutre sur 2 supports, 3 poutre à demi-encastrement, 4 poutre à double encastrement



Torsion sur la barre ronde: F force appliquée, a bras de levier, r rayon, γ angle de glissement, ϕ angle de torsion

Spécification

- [1] déformation élastique de barres en cas de flexion ou de torsion
- [2] essais de flexion avec systèmes isostatiques et hyperstatiques
- [3] essais de torsion avec système isostatique
- [4] appuis pour l'essai de flexion permettant un montage par encastrement ou palier libre
- [5] 2 supports mobiles avec mandrin pour les essais de torsion et appuis pour les essais de flexion
- [6] poids pour générer les moments de flexion ou de torsion
- [7] comparateur à cadran avec support
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

- 17 barres pour les essais de flexion
- matériau: aluminium, acier, laiton, Cu
 - hauteur pour Lxl 510x20mm: H=3...10mm (alu.)
 - largeur pour Lxh 510x5mm: B=10...30mm (alu.)
 - longueur pour Lxh 20x4mm: L=210...510mm (alu.)
 - Lxlh: 20x4x510mm (aluminium, acier, laiton, Cu)
 - Lxlh: 10x10x510mm (aluminium)

22 barres de torsion

- matériau: aluminium, acier, laiton, Cu
- longueur pour $\emptyset=10$ mm: 50...640mm (alu.)
- \emptyset xl: 10x50mm/10x340mm (aluminium, acier, Cu, laiton)
- diamètre pour L=50/340mm: $\emptyset=5...12$ mm (acier)

Comparateur à cadran

- 0...10mm, graduation: 0,01mm

Ruban gradué, graduation: 0,01m

Poids

- 1x 1N (suspente)
- 1x 1N, 1x 4N, 1x 5N, 1x 9N

Lxlh: 1000x250x200mm

Poids: env. 18kg

Lxlh: 1170x480x207mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 2 supports
- 1 dispositif de génération du moment de torsion
- 17 barres pour essai de flexion
- 22 barres de torsion
- 1 comparateur à cadran avec support, 1 ruban gradué
- 1 jeu de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.20

Déformation des bâtis



L'illustration montre le SE 110.20 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- déformation élastique d'un bâti isostatique ou hyperstatique soumis à une charge ponctuelle
- bâti en U et en S
- principe du travail virtuel pour le calcul de la déformation et de la réaction d'appui avec un système hyperstatique

Un bâti est une poutre inclinée aux angles rigides à la flexion formant un gabarit d'espace libre. Cela signifie qu'il fait face à une portée tout en formant une hauteur.

Le SE 110.20 comprend un bâti en U type, utilisé p. ex. dans la construction de halls. Une extrémité est encastrée, l'autre extrémité pouvant être montée de manière libre. Si l'extrémité non encastrée reste libre, le bâti isostatique est étudié. Un palier libre au niveau de l'extrémité non encastrée génère un bâti hyperstatique. Le bâti est chargé des poids. Les points d'application de la charge peuvent être déplacés. Les déformations du bâti soumis à une charge sont enregistrées par deux comparateurs à cadran.

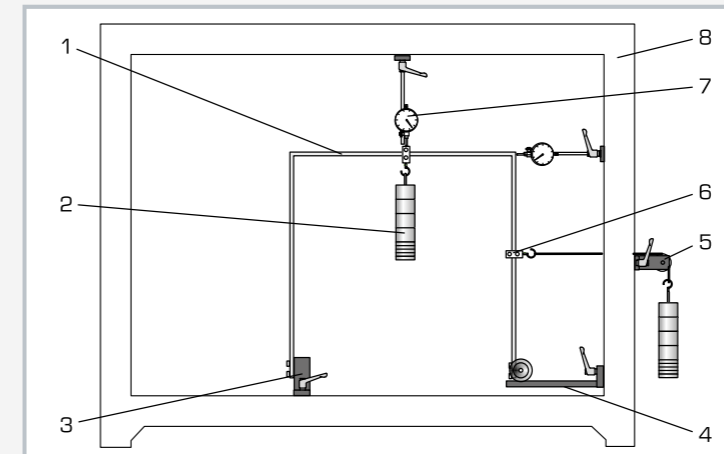
L'application de différentes méthodes (théorie de l'élasticité du 1^{er} ordre, principe de superposition de la mécanique et principe du travail virtuel) permet de déterminer les courbes du moment de flexion élastique pour les bâtis isostatiques et hyperstatiques. Ces courbes et une table d'intégrales permettent d'établir l'équation différentielle de la courbe de flexion élastique. Les déplacements et la force d'appui au niveau du palier libre sont calculés à partir de la courbe de flexion élastique et de ses dérivations.

Un deuxième bâti en S permet de démontrer que les différentes méthodes peuvent être appliquées sur tout type de bâti.

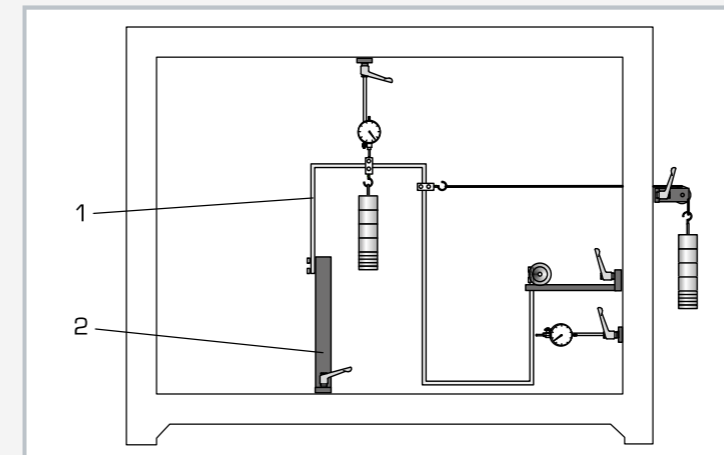
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

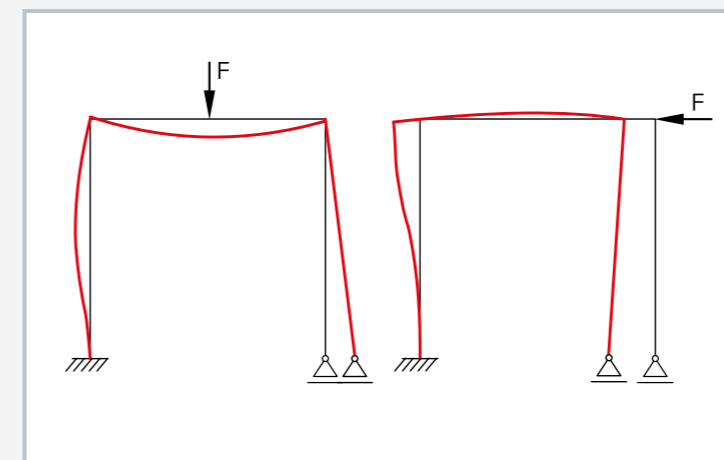
- rapport entre la charge et la déformation sur le bâti
- différences entre le bâti isostatique et le bâti hyperstatique
- apprentissage de la théorie de l'élasticité du 1^{er} ordre pour les systèmes isostatiques et hyperstatiques
- application du principe de superposition de la mécanique
- application du principe de travail virtuel aux bâtis isostatiques et hyperstatiques
 - ▶ détermination d'une déformation à l'aide du principe des forces virtuelles
 - ▶ détermination d'une charge à l'aide du principe du déplacement virtuel
- comparaison des déformations calculées et mesurées



1 bâti en U, 2 poids, 3 colonne d'encastrement courte, 4 palier libre, 5 poulie de renvoi avec fixation, 6 crochet mobile, 7 comparateur à cadran, 8 bâti SE 112



1 bâti en S, 2 colonne d'encastrement longue



Exemples de déformations du bâti hyperstatique soumis à une charge: rouge: bâti déformé, noir: bâti non soumis à une charge

Spécification

- [1] étude de la déformation des bâtis en acier soumis à une charge
- [2] 1 bâti en U et 1 bâti en S
- [3] possibilité d'appui isostatique ou hyperstatique
- [4] 1 colonne d'encastrement longue et 1 colonne d'encastrement courte
- [5] palier libre coulissant pour appui hyperstatique
- [6] poids avec crochets mobiles pour les points d'application de la charge souhaitée
- [7] les comparateurs à cadran saisissent la déformation du bâti étudié soumis à une charge
- [8] système de rangement pour les pièces
- [9] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Bâti en acier

- section: 600mm
- section: 20x10mm
- en U: 600x600mm
- en S: 600x600mm

Comparateurs à cadran

- plage de mesure: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

Poids

- 2x 1N (suspentes)
- 8x 1N
- 6x 5N

LxIxH: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 34kg (total)

Liste de livraison

- 2 bâtis (1 en U, 1 en S)
- 2 colonnes d'encastrement (1 longue, 1 courte)
- 1 appui
- 1 jeu de poids avec crochets mobiles
- 1 poulie de renvoi avec fixation
- 1 câble
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

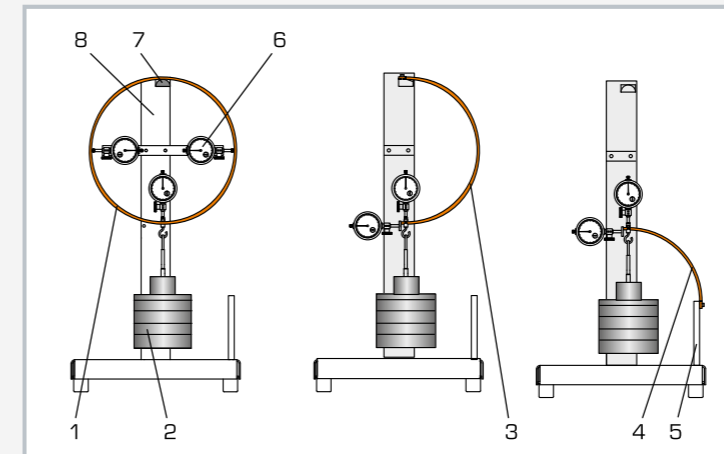
FL 170

Déformation des poutres à axe courbe

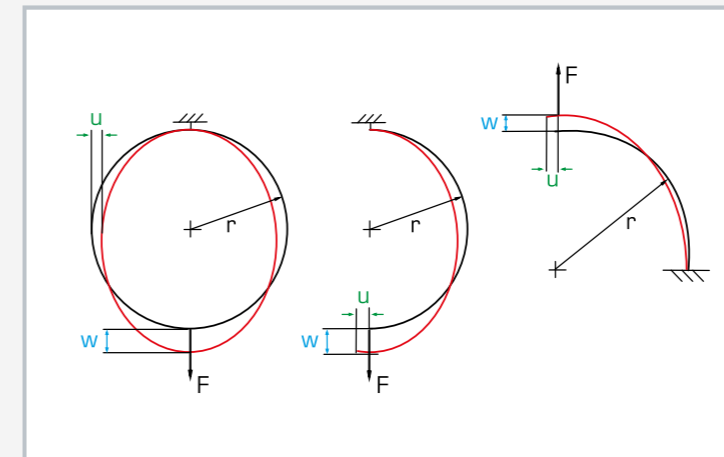


Contenu didactique/essais

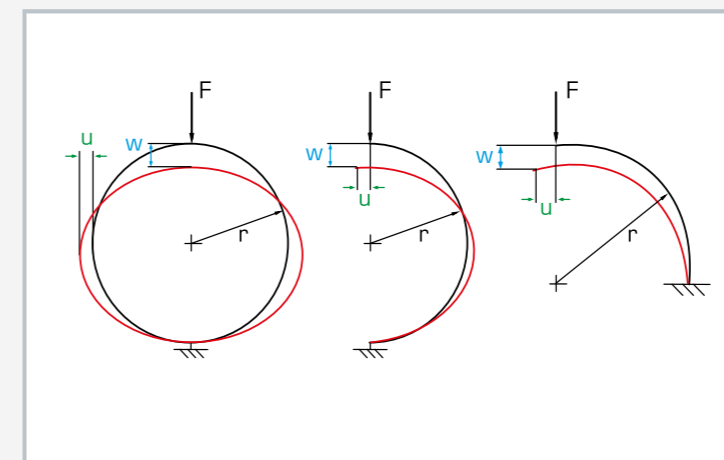
- comportement à la flexion d'une poutre à axe courbe
 - ▶ poutre circulaire
 - ▶ poutre en demi-cercle
 - ▶ poutre en quart de cercle
- application du principe des forces virtuelles (méthode des forces) pour le calcul de la déformation
- moment d'inertie
- comparaison des déformations calculées et mesurées



1 poutre circulaire, 2 poids, 3 poutre en demi-cercle, 4 poutre en quart de cercle, 5 support, 6 comparateur à cadran, 7 appui, 8 colonne



Déformations sur les poutres à axe courbe soumises à une contrainte de traction: F force, r rayon, u déplacement horizontal, w déplacement vertical



Déformations sur les poutres à axe courbe soumises à une contrainte de compression: F force, r rayon, u déplacement horizontal, w déplacement vertical

Spécification

- [1] déformation élastique des poutres à axe courbe soumises à une charge
- [2] 3 poutres différentes possédant la même section: poutre circulaire, poutre en demi-cercle, poutre en quart de cercle
- [3] support de fixation de la poutre en quart de cercle
- [4] colonne avec appui pour la fixation de la poutre circulaire ou en demi-cercle
- [5] 3 comparateurs à cadran servant à enregistrer la déformation dans le sens horizontal et vertical
- [6] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poutre à axe courbe

- rayon: env. 150mm
- section l_xh: 20x5mm
- matériau: acier galvanisé

Comparateurs à cadran

- plage de mesure: 0...20mm
- graduation: 0,01mm

Poids

- 1x 1N (suspende)
- 2x 2N
- 1x 5N
- 1x 10N
- 4x 20N

Lxlh: 400x300x650mm

Poids: env. 21kg

Lxlh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 plaque de base avec colonne
- 3 poutres
- 3 comparateurs à cadran
- 1 jeu de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Description

- déformation élastique de poutres à axe courbe
- poutre circulaire, en demi-cercle et en quart de cercle

Dans le domaine du bâtiment, on opère une distinction entre les poutres et les arcs. L'arc est une poutre hyperstatique à axe courbe composée de deux paliers de butée ou d'encastremets. Les appuis d'un arc (p. ex. les arcs à double articulation) absorbent les forces dans le sens vertical et horizontal, et les extrémités de l'arc ne se déplacent pas dans les appuis. L'effet d'arc statique du système est ainsi généré. En construction mécanique, les crochets de suspension ou les maillons de chaîne sont des exemples types d'une poutre courbe.

Le FL 170 comprend trois poutres montées de manière isostatique: une poutre circulaire, une poutre en demi-cercle et une poutre en quart de cercle.

La poutre étudiée est chargée des poids. Des comparateurs à cadran enregistrent ses déformations dans le sens horizontal et vertical.

Les trois poutres possèdent la même section et donc le même moment d'inertie. Il est ainsi possible de comparer directement les résultats d'essais. Les poutres en demi-cercle et les poutres circulaires sont fixées sur un appui de la colonne. La poutre en quart de cercle est encastrée sur un support.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.

SE 110.44

Déformation d'un treillis



L'illustration montre le SE 110.44 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- déformation élastique dans un treillis plan
- montage de différents treillis
- application du 1^{er} théorème de Castigliano

On observe une déformation élastique d'un composant lorsque celui-ci est soumis à une charge. Ces déformations peuvent être calculées en déterminant p. ex. les courbes de flexion élastique. Les courbes de flexion élastique décrivent la déformation de l'ensemble du composant sous forme d'équation mathématique. En réalité, seules les déformations présentes à des endroits définis du composant sont intéressantes. Ces déformations peuvent être déterminées plus simplement à l'aide des méthodes des énergies. Le 1^{er} théorème de Castigliano utilise des méthodes énergétiques pour calculer la déformation d'un point du composant. Le jeu s'applique aux systèmes isostatiques et hyperstatiques.

Dans le SE 110.44, la déformation d'un treillis plan en un point unique est déterminée à l'aide du 1^{er} théorème de Castigliano. Le treillis à étudier se compose de barres reliées de manière articulée à l'aide de disques de jonction.

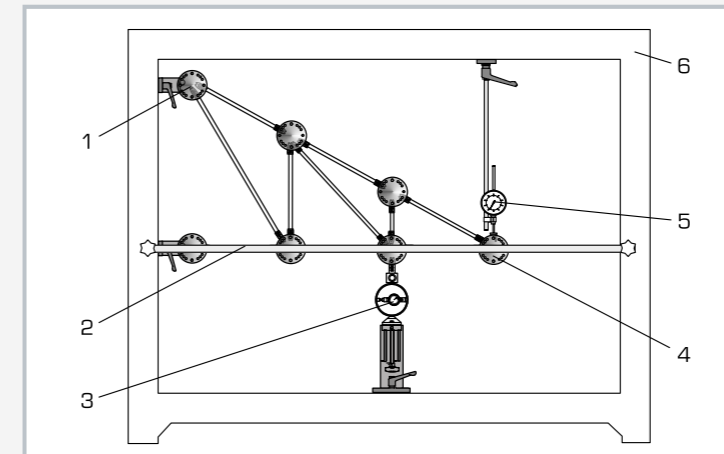
Les treillis peuvent être considérés comme idéals. Les barres sont pourvues de fermetures encliquetées aux extrémités, leur permettant ainsi de s'encliquer en douceur dans le disque de jonction. Un dispositif de charge placé au niveau du disque de jonction crée une force extérieure.

La gamme de barres comporte des barres de différentes longueurs et permet de monter trois formes de treillis. Les barres sont fabriquées en PVC de manière à pouvoir observer les déformations de manière optimale.

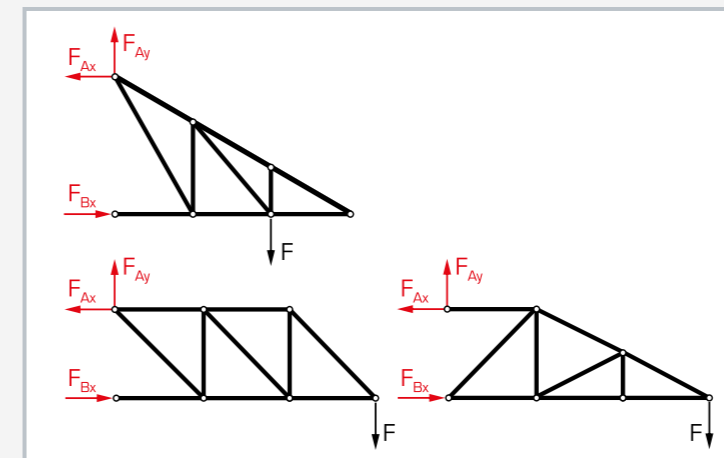
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

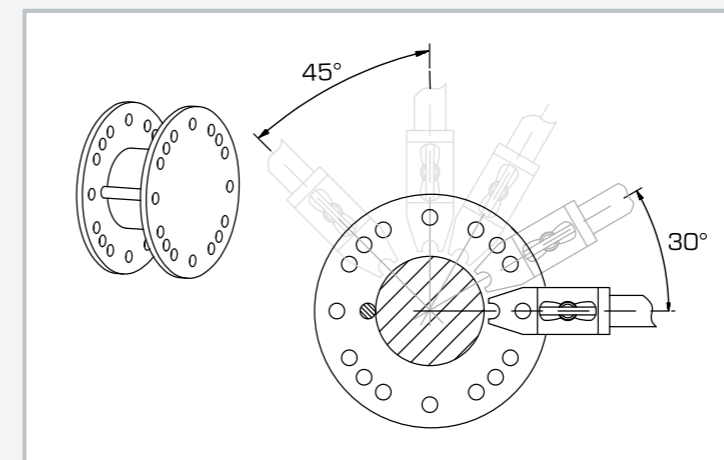
- déformation élastique d'un treillis soumis à une charge ponctuelle
- calcul des réactions d'appui et des efforts dans la barre
- principe de l'énergie et l'énergie de déformation
- application du 1^{er} théorème de Castigliano pour le calcul de la déformation en un point défini
- vérification de la déformation calculée possible selon le principe du travail virtuel
- comparaison des déformations de différents treillis avec une charge identique
- comparaison de la déformation mesurée et calculée



1 appui avec disque de jonction, 2 traverse pour la stabilité latérale du treillis, 3 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 4 disque de jonction, 5 comparateur à cadran, 6 bâti SE 112



3 formes de treillis:
rouge: réactions d'appui, noir: force extérieure



Fixation des barres dans le disque de jonction

Spécification

- [1] étude de la déformation de treillis isostatiques
- [2] possibilité de montage de différents treillis
- [3] 2 appuis avec disques de jonction
- [4] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pouvant être monté sur différents disques de jonction
- [5] comparateur à cadran servant à enregistrer la déformation d'un treillis soumis à une charge
- [6] traverse pour la stabilité latérale d'un treillis
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Treillis avec 19 barres en PVC

- hauteur du treillis max. 450mm
- longueur du treillis max. 900mm
- longueurs des barres: 2x 150mm, 5x 259mm, 7x 300mm, 1x 397mm, 3x 424mm, 1x 520mm
- angles entre les barres: 30°, 45°, 60°, 90°
- effort dans la barre maximal: 200N

Dispositif de charge

- plage de mesure: ±500N
- graduation: 10N

Comparateur à cadran

- plage de mesure: 0...10mm
- graduation: 0,01mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 26kg (total)

Liste de livraison

- 1 jeu de barres
- 5 disques de jonction
- 2 appuis avec disque de jonction
- 1 dispositif de charge
- 1 comparateur à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

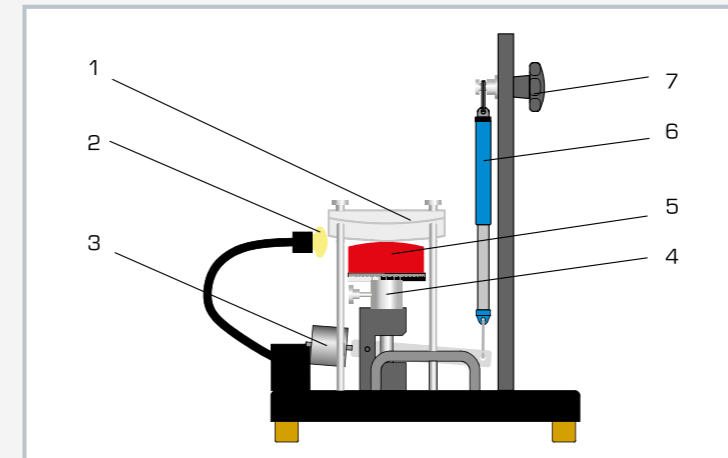
TM 262

Pression de Hertz

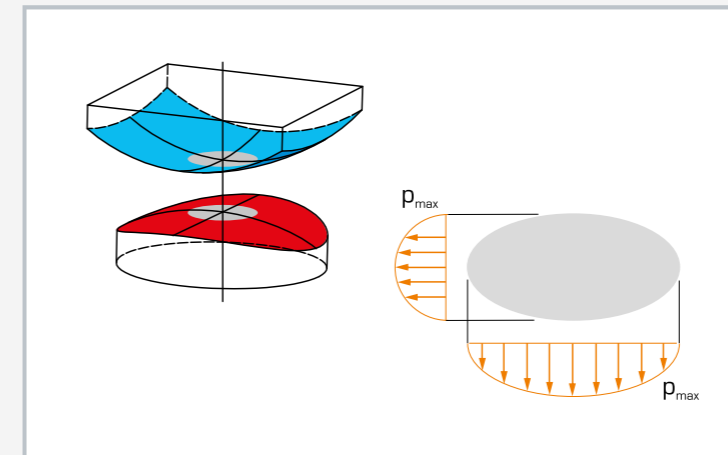


Contenu didactique/essais

- forme de la surface de contact pour le contact ponctuel avec différents rayons de courbure
- forme de la surface de contact comme fonction de la force de contact
- influence d'une composante transversale supplémentaire de la force de contact



1 vitre double convexe en plexiglas, 2 lampe halogène, 3 poids mobile pour l'équilibrage de la masse du dispositif de charge, 4 dispositif de charge, 5 élément de pression en caoutchouc de surface convexe, 6 balance à ressort, 7 dispositif mobile pour la balance à ressort



Surface de contact entre deux corps ayant des surfaces bombées; en gris: surface de contact ayant la forme d'une ellipse; en orange: force de compression (pression)

Spécification

- [1] démonstration de la pression hertzienne
- [2] élément de pression en caoutchouc silicone
- [3] plaque de compression en plastique transparent avec trame pour la mesure de la surface de contact
- [4] balance à ressort pour la mesure de la force
- [5] dispositif mobile pour la balance à ressort permettant la génération d'une force de contact ajustable en continu
- [6] éclairage optimal de la surface de contact par une lampe halogène latérale

Caractéristiques techniques

Balance à ressort
 ■ 0...25N
 ■ graduation: 0,5N

Élément de pression
 ■ 60 Shore

Lampe halogène
 ■ tension: 12V
 ■ puissance: 20W

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 Lxlxh: 400x400x530mm
 Poids: env. 16kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 balance à ressort
- 1 lampe halogène
- 1 documentation didactique

Description

- démonstration de la surface de contact pour la pression hertzienne
- génération de surfaces de contact circulaires et elliptiques
- résultats particulièrement bien visibles grâce à l'alliance du plastique transparent et du caoutchouc silicone

Lorsque l'on presse l'un contre l'autre deux corps ayant une surface bombée, alors ces corps se touchent dans l'idéal uniquement de manière linéaire ou ponctuelle. Dans la réalité, lorsque les deux corps se rapprochent, une surface de contact elliptique se forme au niveau du point de contact suite à la déformation. Les contraintes de compression (pressions) y sont distribuées de manière proportionnelle aux déformations.

Le physicien Heinrich Hertz a développé une théorie permettant de calculer la pression maximale appelée également pression hertzienne. La taille et la forme des surfaces de contact, ainsi que la hauteur et la distribution des contraintes mécaniques en dessous des surfaces de contact, peuvent également être calculées.

L'appareil d'essai TM 262 démontre, par le biais d'un exemple, la forme de la surface de contact qui se forme pour la pression hertzienne. Un élément de pression en caoutchouc est pressé par le biais d'un levier contre une vitre en plastique transparente.

Le disque et l'élément de pression sont bombés. On peut générer aussi bien des surfaces de contact circulaires et elliptiques.

La force au niveau du levier est mesurée à l'aide d'une balance à ressort, ce qui permet de déterminer la force de contact. Une lampe halogène installée sur le côté éclaire de manière optimale la surface de contact. La vitre en plastique est pourvue d'une trame qui facilite la mesure de la surface de contact.

TM 400

Loi de Hooke



L'illustration montre deux appareils TM 400.

Description

■ comportement élastique des ressorts de traction soumis à une charge

La loi de Hooke décrit le comportement élastique des composants dont la déformation est proportionnelle à la charge active. Il s'agit d'un comportement type pour les métaux exposés à de faibles charges.

Le TM 400 met en évidence l'application de la loi de Hooke et illustre la déformation des ressorts de traction soumis à une charge.

Un ressort est accroché à un montant et chargé. La déformation longitudinale est relevée directement sur une règle graduée. L'existence d'une dépendance linéaire entre la force active et la déformation longitudinale des ressorts rend possible l'application de la loi de Hooke.

Contenu didactique/essais

- étude de la proportionnalité de la force active et du débattement
- détermination des flexibilités de ressort
- montage en série de deux ressorts de traction
- étude de l'influence de la flexibilité de ressort sur la fréquence d'un oscillateur pour système masse-ressort

Spécification

- [1] essais relatifs à la loi de Hooke et essais d'oscillation sur un système masse-ressort
- [2] montants en métal avec règle graduée intégrée
- [3] 2 ressorts hélicoïdaux comme ressorts de traction
- [4] ressorts de traction montés en série ou individuellement
- [5] charge des ressorts de traction à l'aide des poids
- [6] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Ressort hélicoïdal court

- spires: 53
- $\varnothing=18,3\text{mm}$
- diamètre de fil: $\varnothing=1,0\text{mm}$

Ressort hélicoïdal long

- spires: 109
- $\varnothing=18,3\text{mm}$
- diamètre de fil: $\varnothing=1,0\text{mm}$

Règle graduée, graduation: 1 mm

Poids

- 1x 1N (suspenste)
- 10x 0,5N

Lxlxh: 250x250x900mm

Poids: env. 5kg

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 montant
- 2 ressorts hélicoïdaux
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 112

Bâti de montage



Description

■ bâti pour les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique

Le bâti de montage SE 112 permet d'effectuer des montages expérimentaux clairs et simples en rapport avec les domaines de la statique, de la résistance des matériaux et de la dynamique.

Le SE 112 se compose de profilés en acier qui sont vissés à un bâti de montage. Deux pieds latéraux garantissent une position stable. Le montage du bâti à partir de différents éléments s'effectue facilement et rapidement, ce qui requiert peu de manipulations.

Spécification

- [1] bâti de montage pour accueillir les montages expérimentaux relatifs à la statique, la résistance des matériaux et la dynamique
- [2] double bâti stable, profilé en acier, soudé
- [3] fixation précise et facile de toutes les pièces de montage par raccord de serrage sur mesure
- [4] à monter de manière stable sur des tables de laboratoire ou sur des établis
- [5] livraison du bâti en pièces détachées

Caractéristiques techniques

Bâti de montage en profilés en acier

- ouverture du bâti lxh: 1250x900mm
- largeur des rainures du profilé: 40mm

Lxlxh: 1400x400x1130mm (monté)

Lxlxh: 1400x400x200mm (non monté)

Poids: env. 32kg

Liste de livraison

- 1 bâti de montage en pièces détachées
- 1 jeu de vis avec clé pour vis à six pans creux
- 1 mode d'emploi

Connaissances de base

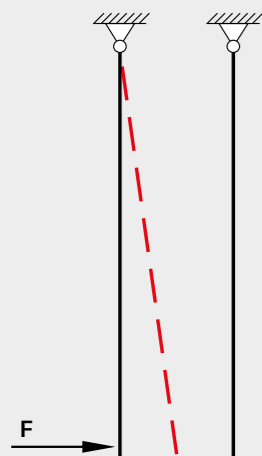
Problème de stabilité: le flambement

Lorsque l'on soumet des composants longs et étroits tels que barres, poutres, tubulures etc. à une force parallèle à leur axe, ils peuvent se retrouver dans des positions d'équilibre indifférentes ou instables. Lorsque la force F est inférieure à la force critique F_K , appelée également effort de flambement, le composant se trouve dans une position d'équilibre stable, et l'on

constate un problème de résistance. Lorsque la force F atteint la force de flambement F_K de la barre, cette dernière est déportée sur le côté (flambement) de manière soudaine. Les composants perdent ainsi leur fonctionnalité. Ce flambement est un phénomène en général très soudain et brutal, qui provoque des déformations importantes.

Différentes positions d'équilibre

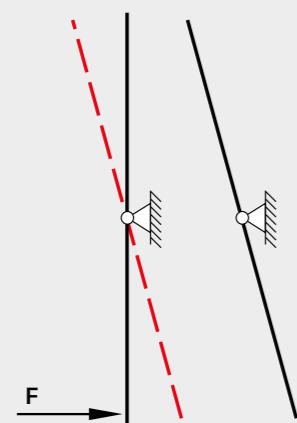
Position d'équilibre stable



Lorsqu'elle n'est plus soumise à la charge, la barre reprend sa position d'origine.

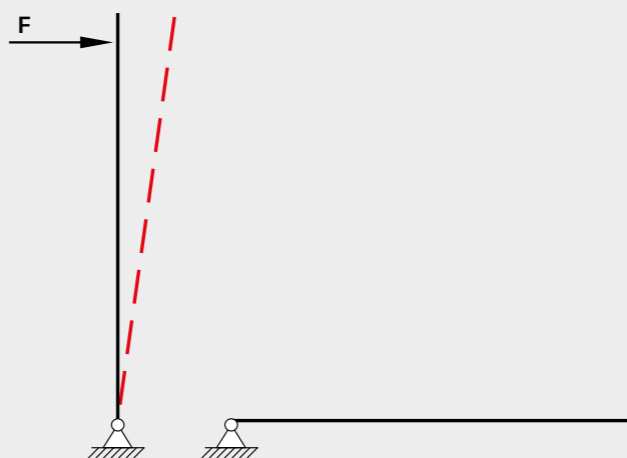
F force

Position d'équilibre indifférente



Lorsqu'elle n'est plus soumise à la charge, la barre reste dans sa nouvelle position.

Position d'équilibre instable



Lorsqu'elle n'est plus soumise à la charge, la barre ne reprend pas sa position d'origine et ne reste pas dans la position qu'elle avait prise durant la charge. La barre tombe.

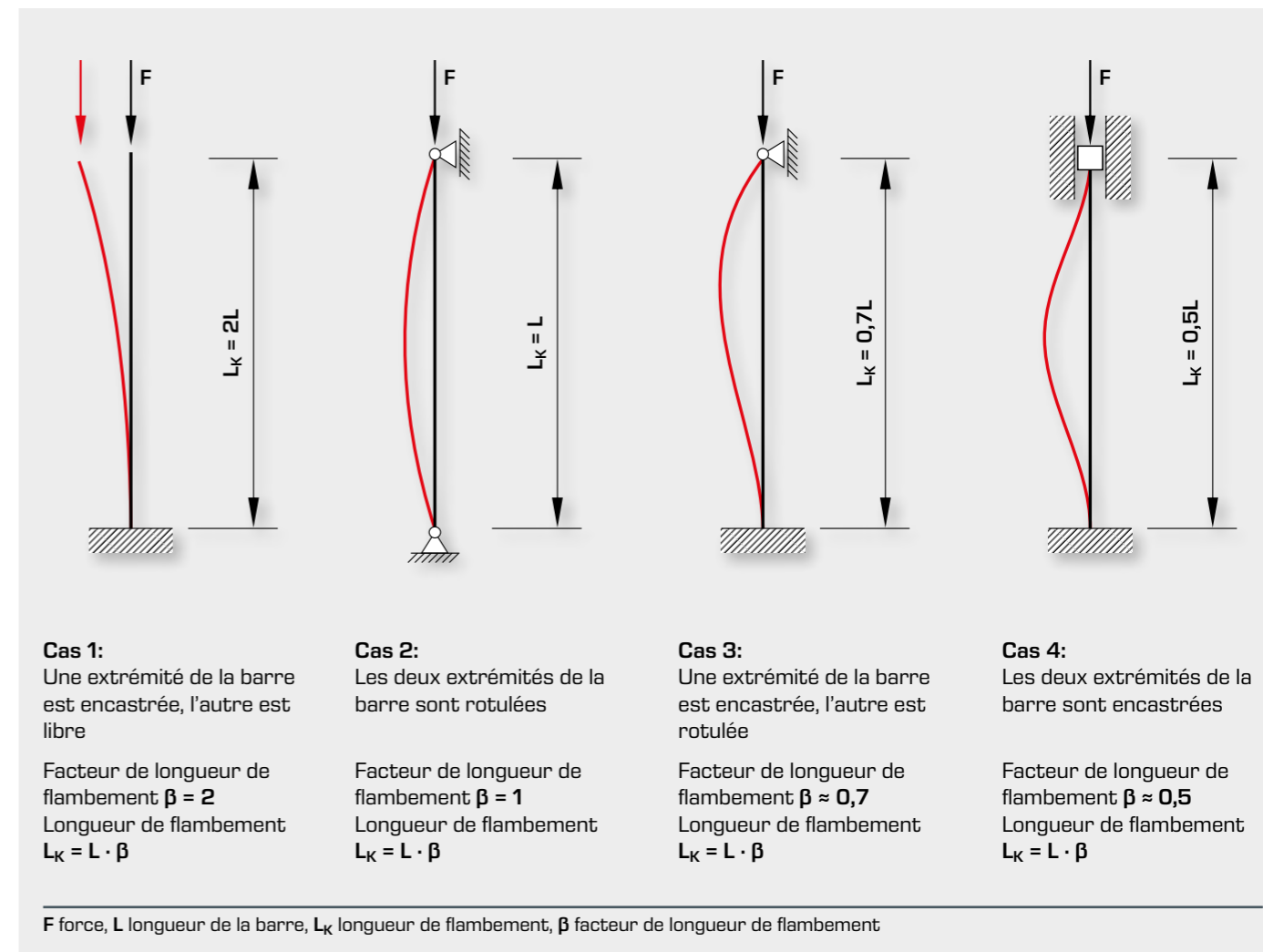
Stabilité des barres

Les barres soumises à une compression posent un problème typique de stabilité. On étudie à quel moment une barre droite cède. L'effort de flambement critique F_K décrit la force de compression minimale à laquelle la barre plie. La contrainte de flambement critique σ_K est la contrainte qui se forme à l'effort de flambement critique F_K . L'effort de flambement de barres sou-

mises à une compression dépend des conditions d'appui, de la rigidité en flexion et de la géométrie, ainsi que de la forme de la coupe transversale de la barre. Pour étudier la stabilité au flambement de barres ayant une rigidité en flexion constante, on se base sur les quatre cas de flambement d'Euler.

Cas de flambement d'Euler

Le mathématicien et physicien Leonhard Euler a défini quatre cas de flambement typiques pour le calcul de l'effort de flambement. Pour chacun de ces cas, on a un facteur de longueur de flambement β permettant de calculer la longueur de flambement L_K .

Calcul de l'effort de flambement F_K

$$F_K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_K^2}$$

F_K effort de flambement critique, L_K longueur de la barre, E module d'élasticité, I moment d'inertie géométrique axial de la coupe transversale

Calcul de la contrainte de flambement σ_K

Pour déterminer la contrainte de flambement, on fait appel au coefficient d'élanement λ en tant que paramètre du matériau et au rayon du moment d'inertie géométrique i .

$$\lambda = \frac{\beta \cdot L}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\sigma_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

σ_K contrainte de flambement, E module d'élasticité, λ coefficient d'élanement, β facteur de longueur de flambement, L longueur de la barre, i rayon du moment d'inertie géométrique, A surface de la coupe transversale de la barre de flambement, I moment d'inertie géométrique

SE 110.19

Étude de problèmes de stabilité simples



L'illustration montre le SE 110.19 dans un bâti semblable au SE 112.

Description

- représentation de problèmes de stabilité simples au niveau de la barre de flambement
- détermination de la charge de flambement avec différentes conditions aux limites
- charge progressive de la barre de flambement

Le flambement est un problème de stabilité qui survient dans la pratique lorsque des composants allongés sont soumis à une compression. Un système stable retourne à sa position d'équilibre après une "défaillance", p. ex. en raison d'une contrainte de compression. Si la contrainte de compression est trop élevée, cela entraîne une instabilité du système. Le composant fléchit par compression, ce qui entraîne une défaillance. La contrainte de compression critique pour laquelle le système est instable est appelée effort de flambement.

Un modèle simple de représentation des problèmes de stabilité consiste en une barre en deux parties à articulation élastique restant stable jusqu'à une certaine charge. En cas de dépassement de l'effort de flambement, la barre fléchit brusquement, devenant ainsi instable.

Le SE 110.19 permet d'étudier des problèmes de stabilité simples sur une barre de flambement avec différentes conditions aux limites.

La barre de flambement se compose de deux pièces et d'une articulation centrale. Une contrainte de compression est exercée sur la barre de flambement à l'aide d'un levier et de poids. La charge progressive est déterminée avec précision à l'aide d'une échelle.

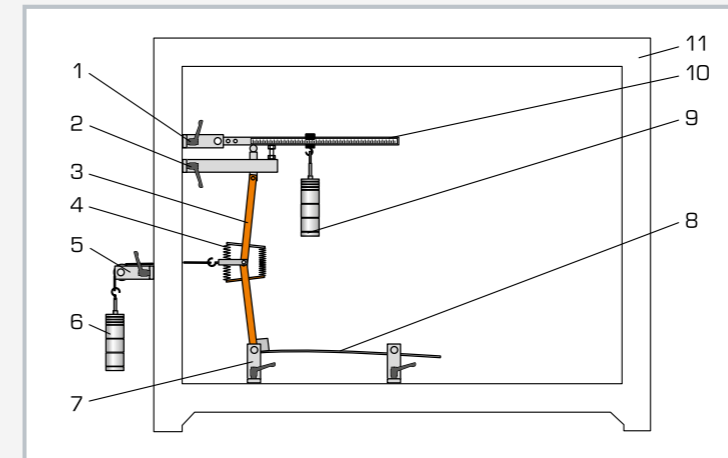
Différentes conditions aux limites, comme p. ex. l'articulation élastique ou la fixation élastique, peuvent être représentées dans les essais. Deux ressorts de traction servent ici d'articulation élastique. Dans le cas de la fixation élastique, un ressort à lames en acier est fixé dans l'articulation inférieure. La longueur variable des ressorts à lames permet de réaliser divers degrés d'encastrement. Les deux cas peuvent être combinés.

Un autre essai illustre l'influence des efforts tranchants additionnels. Pour cela, un effort tranchant est exercé sur l'articulation dans la barre de flambement à l'aide d'un câble et des poids. Dans tous les essais, la barre de flambement est chargée jusqu'à ce qu'elle atteigne une position instable. Le bras de levier au niveau duquel la barre de flambement fléchit (par compression) est détecté au niveau de l'échelle, puis l'effort de flambement est déterminé.

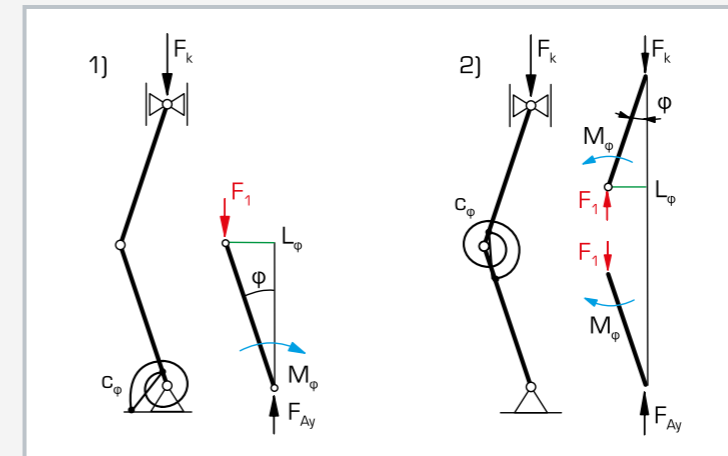
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

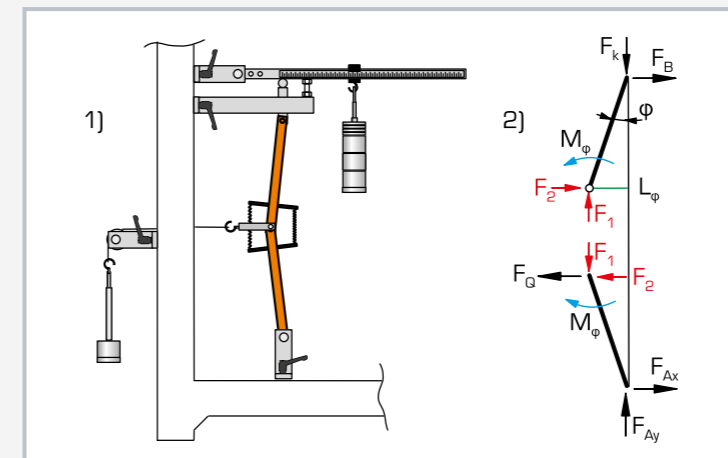
- détermination de l'effort de flambement pour:
 - ▶ articulation élastique
 - ▶ fixation élastique
- étude du flambement sous l'influence
 - ▶ d'efforts tranchants additionnels
 - ▶ de la pré-déformation



1 roulement à rotule, 2 palier avec élément de pression et vis de butée, 3 barre de flambement, 4 ressort articulé, 5 poulie de renvoi, 6 poids, 7 roulement à rotule, 8 ressort à lames, 9 poids, 10 levier de charge avec échelle, 11 bâti SE 112



1) montage expérimental fixation élastique, 2) montage expérimental articulation élastique; F_k effort de flambement, F_1 force d'articulation, F_{Ay} réaction d'appui, M_ϕ moment de flexion interne, L_ϕ déviation, c_ϕ rigidité en torsion, ϕ angle de déviation



1) montage expérimental articulation élastique avec charge transversale, 2) diagramme du corps libre; F_G effort tranchant, F_B et F_A réactions d'appui, M_ϕ moment de flexion interne, L_ϕ déviation, ϕ angle de déviation, F_k effort de flambement, F_1 force d'articulation, F_2 force du câble

Spécification

- [1] étude de la charge de flambement avec différentes conditions aux limites (articulation élastique, fixation élastique)
- [2] barre de flambement en deux parties avec articulation axiale
- [3] charge réglable progressivement à l'aide d'un levier et des poids
- [4] détermination de la charge à l'aide d'une échelle située sur le levier de charge
- [5] divers degrés d'encastrement via des ressorts à lames de longueur variable au niveau de l'appui inférieur
- [6] élément de pression acheminé avec un faible frottement dans le joint à rotule
- [7] articulations avec paliers à roulement
- [8] dispositif de génération d'efforts tranchants
- [9] système de rangement pour les pièces
- [10] montage expérimental dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Barre de flambement en deux parties avec articulation axiale

- l_{xh}: 20x20mm
- longueur: 2x250mm
- appui: rotulée aux deux bouts

Articulation élastique

- 2 ressorts de traction, rigidité: 2N/mm
- bras de levier: 50mm

Fixation élastique avec ressorts à lames en acier

- longueur: 500mm
- section: 10x2mm
- moment d'inertie: 6,66mm⁴
- module d'élasticité: 205000N/mm²

Plaque de force de compression: 25...120N

Effort tranchant: 0...20N

Levier de charge, rapport de levier: 1:2...1:5

Poids

- 2x 1N (suspente)
- 8x 1N
- 6x 5N

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 28kg (total)

Liste de livraison

- 1 barre de flambement, en deux parties
- 1 jeu de poids
- 4 appuis
- 1 poulie de renvoi
- 1 levier de charge
- 1 ressort à lames
- 2 ressorts de traction
- 1 cordon
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

SE 110.57

Flambement de barres



L'illustration montre le SE 110.57 dans le bâti SE 112.

Description

- démonstration du flambement sur des barres
- barres d'essai constituées de différents matériaux et pour différents types d'appui
- essais avec application d'une force excentrique et d'efforts tranchants

Du fait de leur fonction, les composants longs et étroits tels que barres, poutres, tubulaires etc. sont souvent soumis à une contrainte de compression sous l'effet de forces s'exerçant parallèlement à leur axe. Sous l'effet de forces de compression critiques, il est possible que de tels composants perdent en stabilité et soient déportés latéralement. Cette perte de stabilité brutale et continue est désignée par le terme technique de flambement. Dans ce cas, la défaillance ne concerne pas le matériau mais la forme du composant. À ce stade-là, les contraintes dans la barre restent souvent dans la zone élastique.

Le SE 110.57 permet d'illustrer très clairement le flambement élastique de barres soumises à différentes influences. Pour cela, une barre est encastrée ou rotulée aux deux extrémités selon le cas de flambement. Un dispositif de charge permet d'appliquer une force de compression sur la barre.

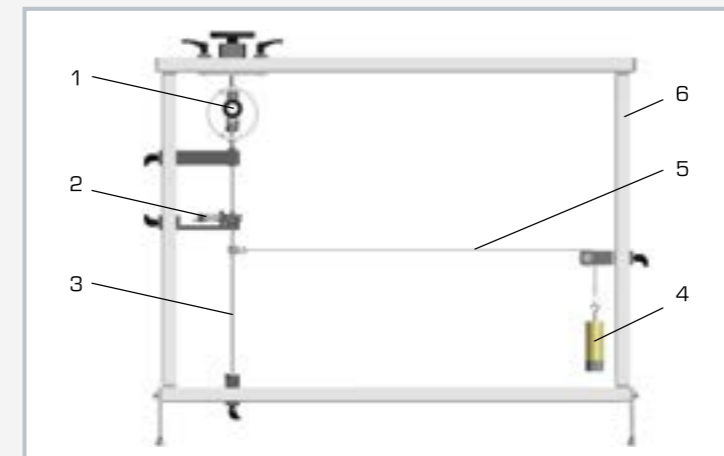
La force appliquée est mesurée et affichée sur un dynamomètre à cadran. Un comparateur à cadran affiche la déviation latérale de la barre.

Des essais permettent de démontrer d'autres éléments qui influencent le comportement de flambement, p.ex. en variant les matériaux ou les coupes transversales. Un autre essai montre l'influence d'efforts tranchants supplémentaires. À cet effet, on applique un effort tranchant sur l'articulation de la barre de flambement en utilisant un câble et un poids.

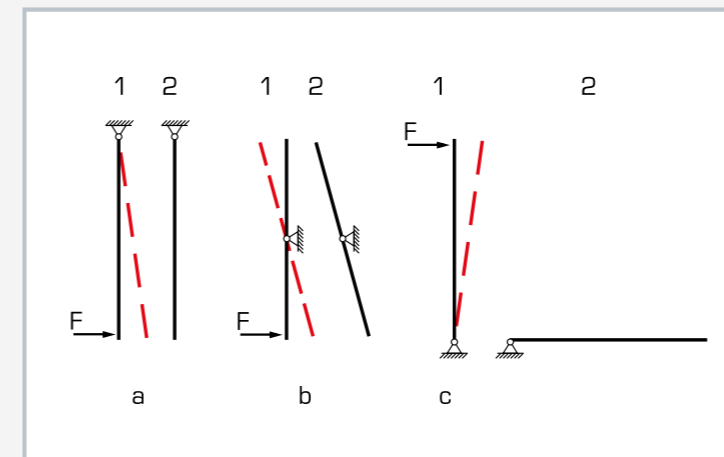
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

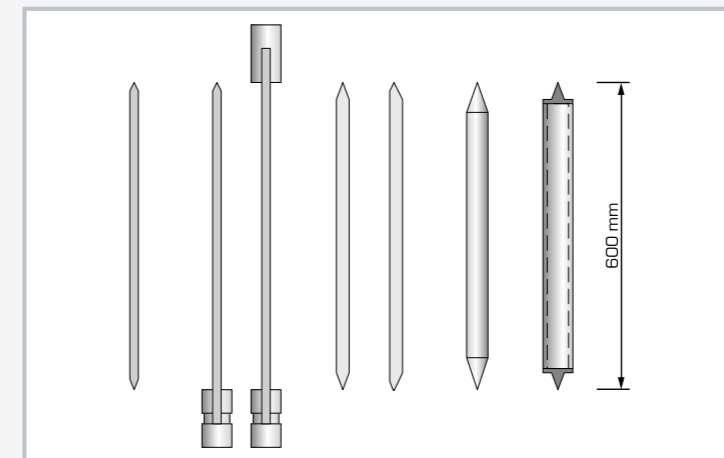
- étude du flambement influencé par
 - ▶ différents types d'appui et d'encastrement
 - ▶ différentes sections
 - ▶ différents matériaux
 - ▶ efforts tranchants supplémentaires
- vérification de la théorie d'Euler: flambement au niveau de barres élastiques
- mesure de la force et de la déviation
- calcul de l'effort de flambement attendu avec la formule d'Euler du flambement
- interprétation graphique de la déviation et de la force



1 dispositif de charge, 2 comparateur à cadran pour déviation latérale de la barre d'essai, 3 barre d'essai, 4 poids, 5 câble, 6 bâti SE 112



Différentes positions d'équilibre: a position stable, b position indifférente, c position instable; position 1 déviation de la barre sous l'effet de la charge, position 2 barre après retrait de la charge



Barres d'essai constituées de différents matériaux et pour différents types d'appui

Spécification

- [1] démonstration très parlante du flambement élastique
- [2] dispositif de charge pour l'application de forces
- [3] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [4] dispositif de génération d'efforts tranchants avec des poids échelonnés
- [5] mesure de la déviation latérale avec un comparateur à cadran
- [6] barres d'essai en différents matériaux: acier, aluminium
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] montage de l'essai dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques

Barres d'essai

- 3x acier, Lxlxh: 600x20x4mm
- 2x aluminium, Lxlxh: 600x25x6mm
- 1x aluminium, LxD: 600x10mm
- 1x aluminium, Lxlxh: 600x15x2mm

Poids

- 1x 2,5N (suspente)
- 3x 5N

Plages de mesure

- force: ± 5 kN
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 30kg (total)

Liste de livraison

- 1 dispositif de charge
- 1 jeu de barres d'essai
- 1 appui
- 2 comparateurs à cadran
- 1 câble
- 1 poulie de renvoi
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

WP 121**Démonstration des cas de flambement d'Eulér****Description**

- **représentation de tous les cas de flambement d'Eulér en comparaison directe**
- **longueur de flambement clairement visible pour différents types d'appui**
- **barres d'essai en acier à ressorts**
- **jeu de poids à réglage fin**

Dans la théorie de la stabilité, les quatre cas de flambement eulériens représentent le flambement élastique par flexion des barres droites soumises à une contrainte de compression. A partir d'une charge donnée (charge de flambement), la barre perd en stabilité et une déformation croissante de la barre est constatée. L'axe de la barre se déporte latéralement. Euler décrit quatre cas de flambement de la barre élastique avec une force de compression axiale pour différents types de montage.

Le WP 121 permet de démontrer de manière claire les quatre cas de flambement eulériens. Pour cela, quatre barres sont encastrées ou montées de différentes manières dans un bâti et chargées.

Selon les conditions de montage, différentes forces de poids sont nécessaires jusqu'à ce que la charge de flambement soit atteinte et que les axes de barre se déportent latéralement. La longueur de flambement peut être détectée directement devant la paroi arrière blanche avec trame imprimée.

Les barres d'essai se composent d'acier à ressorts inoxydable et restent dans le domaine élastique pendant l'essai.

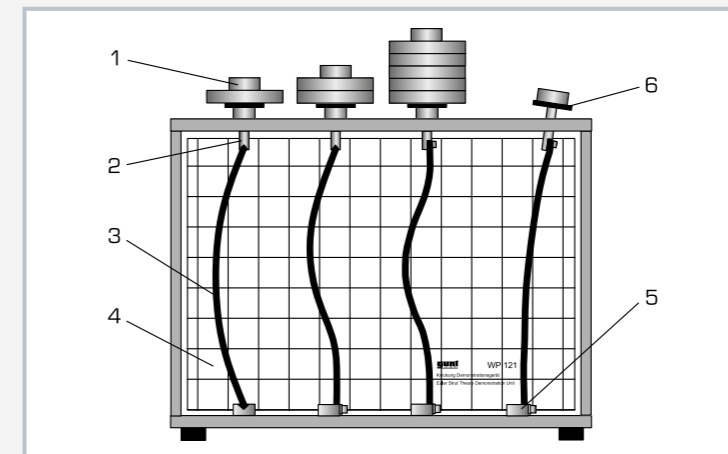
Selon le type d'appui, les barres d'essai sont encastrées ou rotulées. Tous les cas de flambement eulériens sont ainsi réalisés avec les différents types d'appui. Des logements sont prévus dans les supports supérieurs afin de placer les poids. Les barres d'essai sont chargées par étapes.

Cela permet de mettre clairement en évidence l'apparition de la perte de stabilité, le flambement.

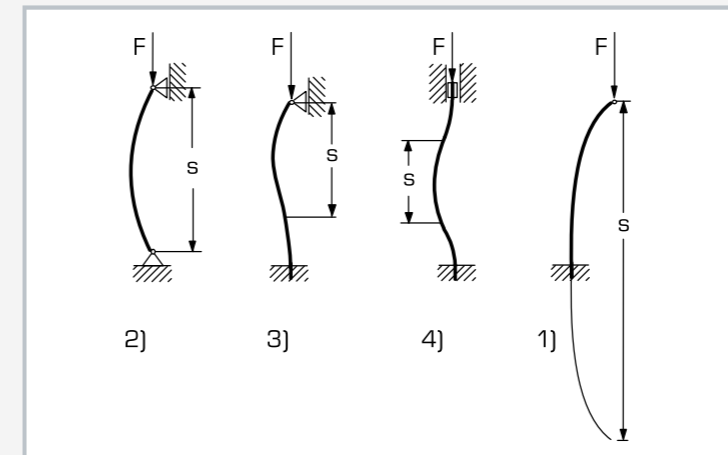
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.

Contenu didactique/essais

- **représentation des différents problèmes de flambement**
 - ▶ cas eulérien 1: barre encastrée-libre
 - ▶ cas eulérien 2: barre rotulée aux deux bouts
 - ▶ cas eulérien 3: barre encastrée-rotulée
 - ▶ cas eulérien 4: barre encastrée aux deux bouts
- **apprentissage du rapport entre la longueur de flambement, la charge de flambement et les différents types de montage**



1 poids, 2 palier libre, 3 barre, 4 paroi arrière avec impression sur trame, 5 encastrement, 6 logement pour poids



Longueur de flambement en fonction des conditions de montage des barres:

- 1) cas eulérien 1: barre encastrée-libre
 2) cas eulérien 2: barre rotulée aux deux bouts
 3) cas eulérien 3: barre encastrée (en bas)-rotulée (en haut)
 4) cas eulérien 4: barre encastrée aux deux bouts;
 F charge de flambement appliquée, s longueur de flambement



Système de rangement

Spécification

- [1] démonstration graphique du flambement élastique
- [2] représentation de 4 les cas de flambement eulériens
- [3] 4 barres d'essai en acier
- [4] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [5] les barres d'essai ne peuvent pas être surchargées
- [6] paroi arrière blanche, avec trame imprimée
- [7] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques**Barres d'essai**

- nombre: 4
- longueur de barre: 180mm
- section des barres: 0,5x12mm
- matériau: acier 1.4310 pour ressorts
- charges de flambement: env. 2...32N

Poids

- 10x 5N
- 5x 1N

Lxlxh: 380x110x270mm

Poids: env. 10kg

Lxlxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 barres d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

WP 120

Flambement de barres



Contenu didactique/essais

- étude du flambement influencé par
 - ▶ différents types d'appui et d'encastrement
 - ▶ différentes longueurs de barre, sections
 - ▶ différents matériaux
 - ▶ de charges transversales supplémentaires
- vérification de la théorie d'Euler: flambement au niveau de barres élastiques
- calcul de l'effort de flambement attendu à l'aide de la formule d'Euler
- interprétation graphique de la déviation et de la force
- détermination du module d'élasticité pour un matériau inconnu (plastique renforcé de fibre de verre)
- mesure de la force et de la déviation
- avec le jeu complémentaire WP 120.01: étude du comportement de flambement sous l'influence
 - ▶ de différentes formes de la coupe transversale
 - ▶ d'application d'une force excentrique

Description

- étude de tous les problèmes de flambement importants
- vérification de la théorie d'Euler sur le flambement
- essais avec application de forces excentriques et charge transversale
- documentation didactique très complète

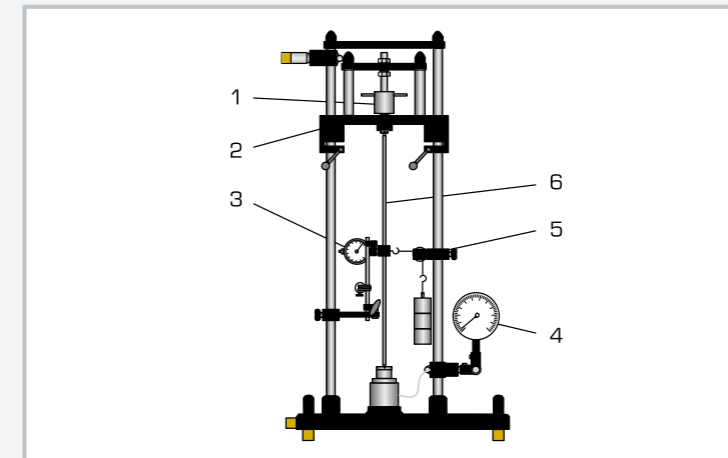
Dans le domaine de la mécanique appliquée, la perte de stabilité est appelée flambement. Lorsque l'axe de la barre est soumis à des forces de compression sous une charge croissante, il se déporte latéralement jusqu'à une défaillance soudaine et violente avant d'avoir atteint la limite de résistance à la rupture. À ce stade-là, les contraintes dans la barre restent souvent dans la zone élastique.

WP 120 examine le comportement au flambement de barres soumises à diverses influences. Tous les problèmes de flambement importants sont illustrés ici dans les essais. Pour cela, une barre est encastrée ou rotulée aux deux extrémités de l'appareil d'essai selon le cas de flambement. Une force de compression est appliquée sur la barre via une traverse de charge réglable en hauteur et une broche à commande manuelle. Un palier axial situé entre la broche et l'appui de la barre empêche toute sollicitation en torsion de la barre d'essai. La force appliquée est mesurée hydrauliquement et s'affiche sur un dynamomètre à cadran. Un comparateur à cadran affiche la déviation latérale de la barre.

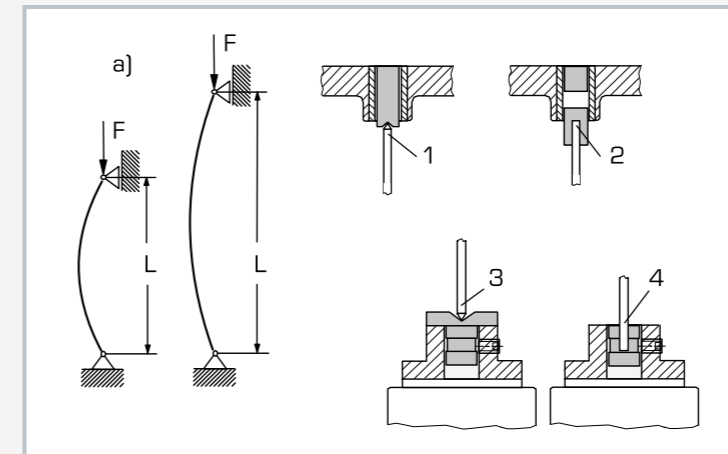
Les essais permettent d'illustrer l'influence de différents facteurs comme les longueurs des barres, les matériaux et les types d'appui, sur le comportement de flambement. Un dispositif de charge transversale permet de générer des efforts tranchants supplémentaires sur la barre d'essai. Les essais peuvent être réalisés en position verticale ou horizontale, le dynamomètre à cadran étant orientable à 90°.

Un jeu complémentaire de barres d'essai permet d'étendre les possibilités d'essai du WP120.

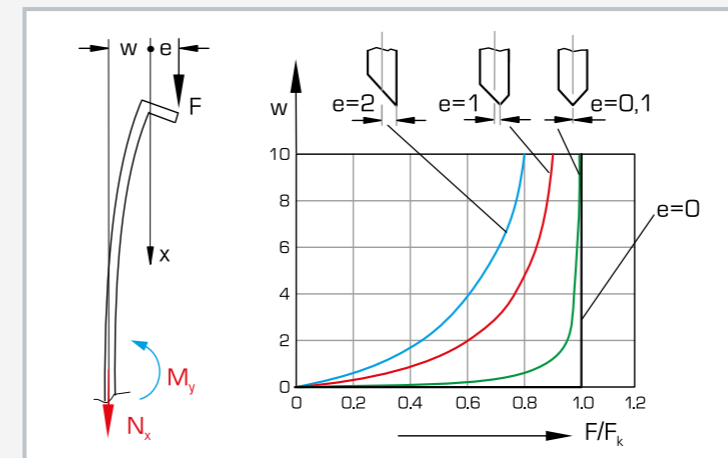
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.



1 broche, 2 traverse de charge réglable en hauteur, 3 comparateur à cadran pour la déviation latérale de la barre d'essai, 4 dynamomètre, 5 dispositif de génération d'une force transversale, 6 barre d'essai



a) essai sur l'influence de la longueur de la barre sur le comportement de flambement: F force appliquée, L longueur de la barre; 1 barre rotulée (en haut), 2 barre encastrée (en haut), 3 barre rotulée (en bas), 4 barre encastrée (en bas)



Essai avec application d'une force excentrique [WP 120.01]: F force appliquée, e excentricité, w fléchissement, M_y moment de flexion, F/F_k force de compression en fonction de la force de compression critique; diagramme: déviation de la barre d'essai pour différentes excentricités

Spécification

- [1] étude de tous les cas de flambement importants
- [2] vérification de la théorie d'Euler sur le flambement
- [3] essais en position horizontale ou verticale
- [4] barres d'essai de différentes longueurs composées de matériaux divers
- [5] barres d'essai rotulées ou encastrées
- [6] broche servant à appliquer les forces
- [7] dispositif de charge transversale servant à générer des efforts tranchants
- [8] mesure de force à l'aide d'un dynamomètre hydraulique
- [9] mesure de la déviation latérale à l'aide d'un comparateur à cadran
- [10] autres essais grâce au jeu complémentaire WP 120.01
- [11] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

- Barres d'essai
- nombre: 11
 - longueur des barres: 350...700mm (max.)
 - matériaux: aluminium, cuivre, laiton, acier, plastique renforcé de fibre de verre
 - coupes transversales: 10x4mm, 25x6mm, 25x10mm

- Broche de charge
- force: max. 2000N
 - course: max. 10mm

Déviation latérale: max. 20mm

Orifice du logement de la barre d'essai: $\varnothing=20$ mm

- Poids pour charge transversale: max. 20N
- 1x 5N (suspente), 3x 5N

- Plages de mesure
- force: 0...2500N, graduation: 50N
 - déviation: 0...20mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 620x450x1150mm
Poids: env. 63kg
Lxlxh: 1170x480x178mm (système de rangement)
Poids: env. 12kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de barres d'essai
- 1 comparateur à cadran avec support
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Accessoires pour WP 120

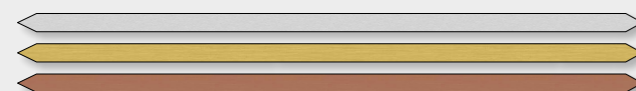
Le WP 120 comporte les barres d'essai suivantes:



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 20x4 mm
Longueur de barre: 350, 500, 600, 650, 700 mm
Matériau: acier



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 25x6 mm
Longueur de barre: 600 mm
Matériau: Al, CuZn, Cu



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 25x10 mm, longueur de barre: 600 mm
Matériau: plastique renforcé de fibres de verre



Barre plate

Barre encastrée – rotulée

Section: 20x4 mm, longueur de barre: 650 mm
Matériau: acier

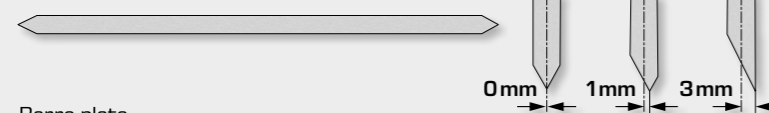


Barre plate

Barre encastrée – encastrée

Section: 20x4 mm, longueur de barre: 650 mm
Matériau: acier

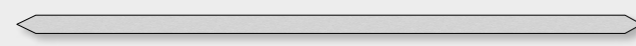
Le jeu complémentaire WP 120.01 comporte les barres d'essai suivantes:



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 25x6 mm
Longueur de barre: 500 mm
Excentricité: 0 mm, 1 mm, 3 mm
Matériau: Al



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 40x6 mm, longueur de barre: 500 mm
Matériau: Al



Tube rectangulaire

Barre rotulée aux deux bouts

Section: 20x10x2 mm, longueur de barre: 700 mm
Matériau: Al



Barre plate

Barre rotulée aux deux bouts

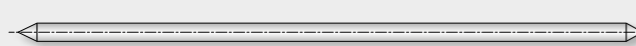
Section: 25x10 mm, longueur de barre: 700 mm
Matériau: plastique renforcé de fibres de verre



Tube rond

Barre rotulée aux deux bouts

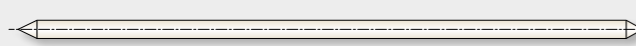
Section: D = 15x2 mm, longueur de barre: 700 mm
Matériau: Al



Barre ronde

Barre rotulée aux deux bouts

Section: D = 14 mm, longueur de barre: 700 mm
Matériau: Al



Tube rond

Barre rotulée aux deux bouts

Section: D = 16x2 mm, D = 20x1,5 mm
Longueur de barre: 700 mm
Matériau: PVC

Systèmes de rangement de GUNT aident
à organiser leur laboratoire**WP 121**

Démonstration des cas de flambement d'Euler

**WP 950**

Déformation de poutres droites

**WP 130**

Démonstration des hypothèses des contraintes

**SE 110.19**

Étude de problèmes de stabilité simples



FL 160

Flexion gauche



Description

- flexion droite et gauche au niveau de la poutre
- profils symétrique et asymétrique: section en I, section en L, section en U
- contrainte de flexion et contrainte de torsion combinées via l'application de force excentrique

La flexion droite d'une poutre, également appelée flexion axiale, survient lorsque le plan de charge coïncide avec l'un des axes principaux de la section de poutre. Le fléchissement s'effectue alors dans le sens de la charge et peut être décrit à l'aide de courbes de flexion élastique.

Lors de la flexion gauche d'une poutre, également appelée flexion biaxiale, les axes principaux de la section ne correspondent pas à la direction de la charge. Pour éviter l'apparition d'une torsion, la ligne active de la charge doit passer par le centre de cisaillement. Si ce n'est pas le cas, la poutre est soumise à une contrainte de flexion et de torsion combinée.

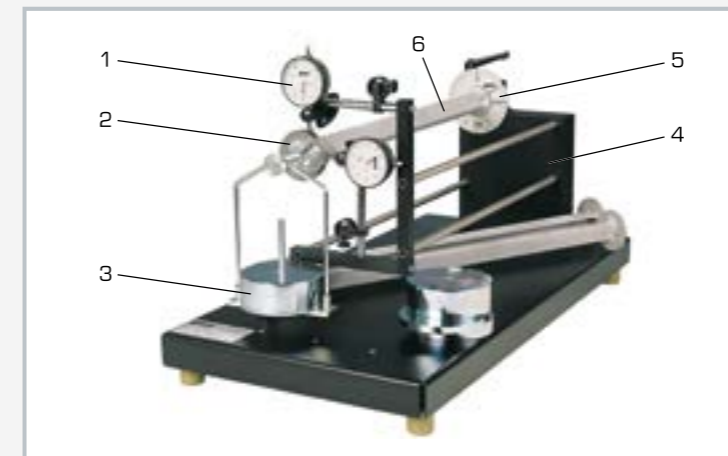
Le FL 160 permet d'effectuer des essais relatifs à la flexion droite, la flexion gauche et à la contrainte de flexion et de torsion combinée. La poutre étudiée est encastrée unilatéralement et chargée au niveau de l'extrémité libre. Deux comparateurs à cadran enregistrent la déformation de la poutre dans le sens horizontal et vertical.

L'appareil comprend trois poutres présentant chacune une section différente: section en I, en L et en U. La poutre peut être encastrée par rotation. Une charge le long d'un axe principal ou le cas de charge général sont étudiés. Une échelle angulaire située au niveau du point d'encastrement indique la position angulaire de la poutre. Il est possible de déplacer de manière excentrée le point d'application de la charge de manière à pouvoir étudier la flexion gauche pure ou la contrainte de flexion et de torsion combinées.

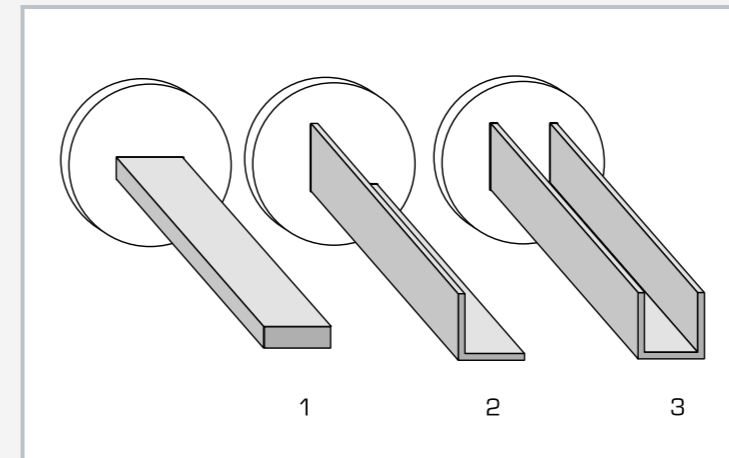
Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans un système de rangement.

Contenu didactique/essais

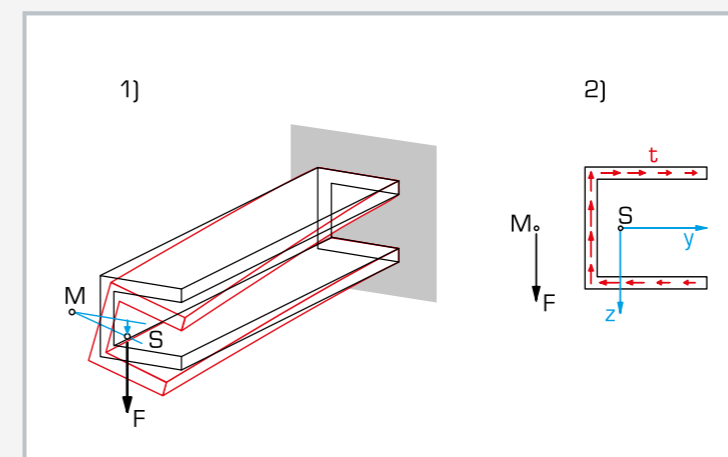
- moment de déviation (I_{yz}) et moment d'inertie axial (I_y, I_z)
- hypothèses de Bernoulli
- flexion droite au niveau de la poutre (axiale)
 - ▶ avec section en I
 - ▶ avec section en L
 - ▶ avec section en U
- flexion gauche (biaxiale) au niveau de la poutre avec section en L
 - ▶ calcul de la fibre neutre
- contrainte de flexion et de torsion combinées via l'application de force excentrique
- détermination du centre de cisaillement au niveau de la poutre avec section en U
 - ▶ apprentissage du flux de cisaillement (efforts de cisaillement dans une section)
- comparaison des valeurs calculées et mesurées



1 comparateur à cadran, 2 dispositif de déplacement du point d'application de la charge et bride d'application de la charge, 3 poids, 4 colonne d'encastrement, 5 bride d'encastrement de la poutre avec échelle angulaire, 6 poutre



Poutre: 1 section en I, 2 section en L, 3 section en U



1 la poutre se tord en cas d'application de la force au centre de gravité, 2 aucune torsion en cas d'application de la force au centre de cisaillement; M centre de cisaillement, S centre de gravité, F force, t flux de cisaillement

Spécification

- [1] appareil d'essai de flexion générale et de flexion gauche des poutres droites
- [2] 3 poutres: section en I, en L et en U
- [3] la bride d'encastrement de la poutre peut être encastrée par torsion dans la colonne d'encastrement
- [4] bride d'encastrement avec échelle angulaire pour afficher la position angulaire de la poutre
- [5] excentricité réglable du point d'application de la charge
- [6] 2 comparateurs à cadran avec support servant à saisir la déformation horizontale et verticale de la poutre soumise à une charge
- [7] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poutre en aluminium
■ longueur déformée: 500mm

Excentricité du point d'application de la charge
■ 0...25mm

Comparateurs à cadran
■ 0...10mm, graduation: 0,01mm

Échelle angulaire
■ 0...360°, graduation: 1°

Poids
■ 1x 2,5N (suspente)
■ 1x 2,5N
■ 3x 5N

Lxlxh: 700x350x400mm

Poids: env. 25kg

Lxlxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 poutres
- 2 comparateurs à cadran avec support
- 1 jeu de poids
- 1 nivelle
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

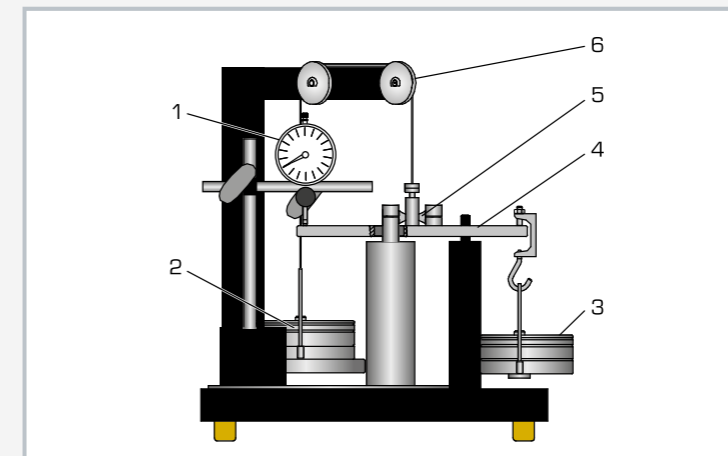
WP 130

Démonstration des hypothèses des contraintes

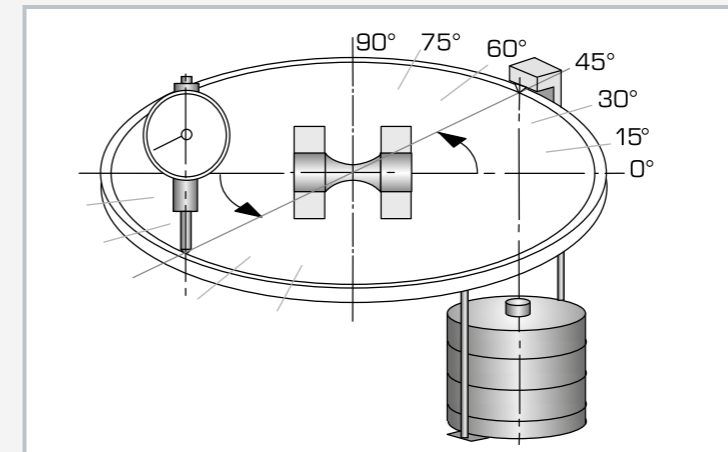


Contenu didactique/essais

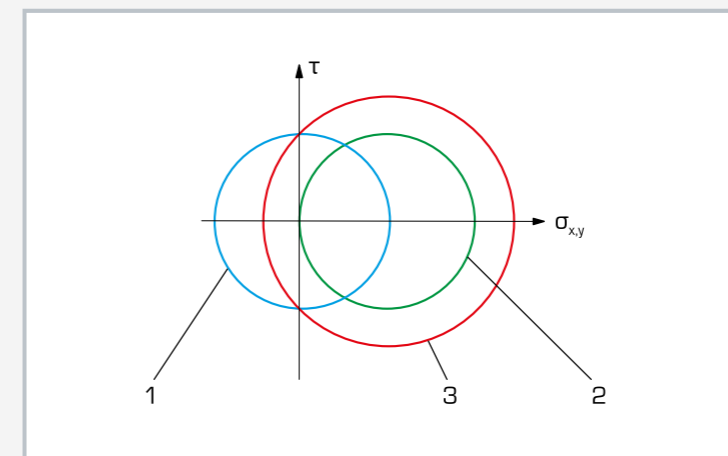
- génération de fatigues multiaxiales dans les éprouvettes en métal ductile:
 - ▶ acier, cuivre, laiton, aluminium
- génération de couples de charge divers
 - ▶ moment de flexion pur
 - ▶ moment de torsion pur
 - ▶ combinaison du moment de flexion et du moment de torsion
- détermination de la limite apparente d'élasticité
- vérification de l'hypothèse des contraintes normales
- vérification de l'hypothèse des contraintes de cisaillement
- représentation dans le cercle de Mohr des contraintes



1 comparateur à cadran, 2 poids d'équilibrage, 3 poids, 4 plaque de charge, 5 éprouvette dans les encastresments, 6 poulie de renvoi et câble pour la compensation des charges propre de la plaque



Éprouvette encastrée: 0°=flexion pure, 90°=torsion pure, toutes les positions angulaires comprises entre ces valeurs=charge combinée



Cercles de Mohr des contraintes avec une charge combinée: flexion avec torsion simultanée; 1 torsion pure, 2 flexion pure, 3 flexion et torsion ensemble; σ contraintes normales, τ contraintes de cisaillement

Spécification

- [1] essais de vérification des hypothèses de contraintes de comparaison de la résistance des matériaux
- [2] 7 combinaisons de charge basées sur la flexion et la torsion
- [3] charge sans efforts tranchants de l'éprouvette par compensation de l'effet des charges propre
- [4] éprouvettes en acier, cuivre, laiton, aluminium
- [5] génération de couples de charge à l'aide de poids et d'un bras de levier
- [6] mesure de la déformation à l'endroit où la déviation est la plus importante
- [7] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Éprouvettes

- longueur: 49mm
- longueur d'encastrement: 11,5mm
- diamètre de l'éprouvette dans la section de mesure: $\varnothing=4\text{mm}$

Poids pour charger les éprouvettes

- 1x 2N (suspenste), 1x 1N, 1x 2N, 1x 4N, 2x 8N

Poids pour compenser la charge et la plaque de charge

- 1x1N, 2x2N, 1x4N, 2x8N

Bras de levier: 100mm

Déformation

- plage de mesure: 0...10mm
- graduation: 0,01mm

Lxlxh: 390x330x360mm

Poids: env. 17kg

Lxlxh: 720x480x178mm (système de rangement)

Poids: env. 10kg (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 16 éprouvettes rondes (4x acier, 4x Cu, 4x Al, 4x laiton)
- 1 jeu de poids (charge)
- 1 jeu de poids (compensation)
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Description

- **vérification de l'hypothèse des contraintes normales et de l'hypothèse des contraintes de cisaillement**
- **fatigue multiaxiale des éprouvettes en métal ductile par une flexion pure, une torsion pure ou une combinaison des deux**
- **charge sans efforts tranchants de l'éprouvette par compensation de l'effet des charges propre**

Les hypothèses des contraintes s'appliquent dans le domaine de la résistance des matériaux lorsque des contraintes de comparaison sont calculées pour des contraintes composées inégales.

Les hypothèses des contraintes suivantes, prenant en compte les propriétés des matériaux, ont fait leurs preuves dans la pratique: hypothèse des contraintes normales, hypothèse de

modification de la forme et hypothèse des contraintes de cisaillement.

L'appareil d'essai WP 130 permet de vérifier ces hypothèses de contraintes de comparaison sur des éprouvettes composées de différents métaux. Pour cela, une contrainte multiaxiale est générée en un point de l'éprouvette et la déformation présente est mesurée.

L'éprouvette est serrée unilatéralement sur le bâti fixe. Une plaque de charge est serrée sur l'éprouvette de l'autre côté. Les poids est appliqué sur le périmètre extérieur de la plaque. L'utilisation des poids d'équilibrage permet de compenser la charge propre de la plaque et les poids.

Ainsi, seules des contraintes normales et de cisaillement sont présentes en un point de l'éprouvette, ce qui permet d'éviter les efforts tranchants.

La plaque de charge est pourvue d'un graticule afin de pouvoir fixer les poids par pas de 15°. Il est ainsi possible de réaliser des moments de flexion et de torsion pures et des couples de charges combinées. Des points de mesure situés de manière diamétralement opposée aux poids sont prévus sur la plaque de charge pour mesurer la déformation. Il est par conséquent possible de mesurer la déformation à l'endroit où la déviation est la plus importante.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégées dans une système de rangement.

Analyse de contraintes expérimentelle: jauge de contrainte et photoélasticimétrie

Pour dimensionner de manière adéquate des composants qui seront sollicités sur le plan mécanique, il est indispensable d'avoir des connaissances sur le type des sollicitations. Les grandeurs décisives pour leur construction sont les contraintes maximales rencontrées, qui décideront des dimensions du composant. Ces contraintes doivent être déterminées au préalable puis vérifiées de manière expérimentelle au cours d'un essai. L'analyse expérimentelle des contraintes peut ainsi être considérée comme le trait d'union entre les calculs théoriques et les démonstrations par le biais des essais.

Deux méthodes d'analyse expérimentelle des contraintes sans perturbations sont présentées ici:

- le **procédé électrique** de mesure de l'allongement à l'aide de jauges de contrainte permettant de déterminer de manière indirecte les contraintes réelles
- le **procédé de photoélasticimétrie** pour la représentation directe de la répartition des contraintes

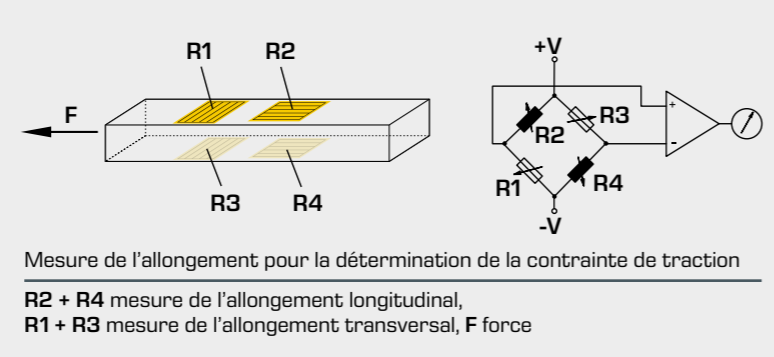
Mesure de l'allongement à l'aide des jauges de contrainte

Les contraintes présentes dans les composants peuvent être déterminées par le biais d'une mesure de l'allongement, étant donné qu'il existe une relation directe entre l'allongement et la contrainte d'un matériau. Une branche importante de l'analyse des contraintes se base sur le principe de la mesure de l'allongement. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir utiliser les jauges de contrainte sur des composants réels opérationnels.

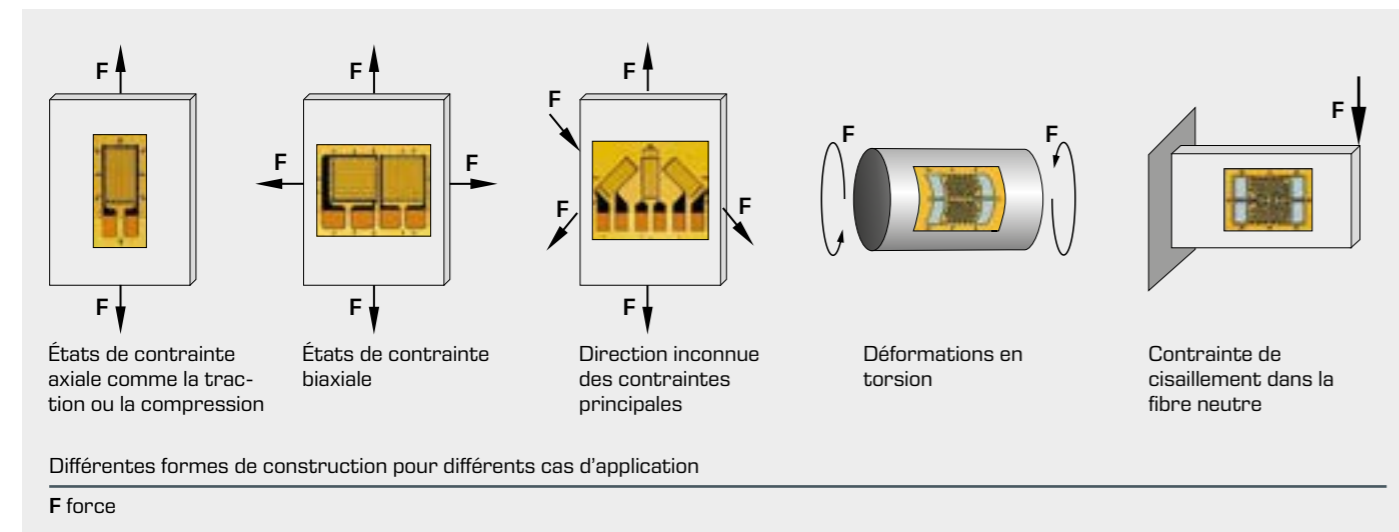
Les jauges de contrainte sont constituées de fils de résistance qui sont collés à la surface de la pièce d'usinage. Lorsque la surface s'allonge, le fil s'allonge également et sa section se réduit; ce qui a pour effet d'augmenter la résistance électrique. En cas d'écrasement, la résistance baisse. Dans le pont de Wheatstone, toutes les résistances sont montées en diviseurs de tension. Ce montage de mesure est très bien adapté à la mesure des faibles modifications d'une résistance, et donc à la détermination de la modification de la résistance d'une jauge de contrainte.

Détermination de la valeur et de la direction des contraintes mécaniques

Les contraintes σ sont calculées à l'aide de la loi de Hooke à partir des allongements mesurés à la surface ϵ .



Sélection et installation de la jauge de contrainte pour l'étude des différents états de contrainte

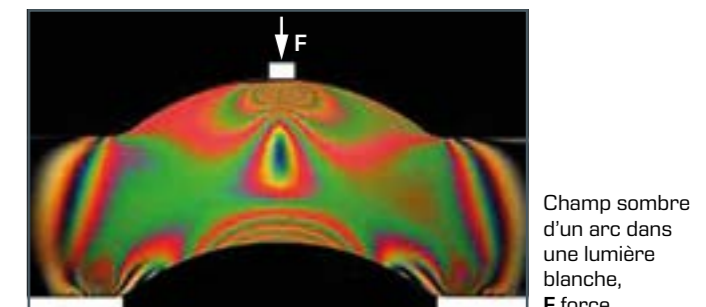
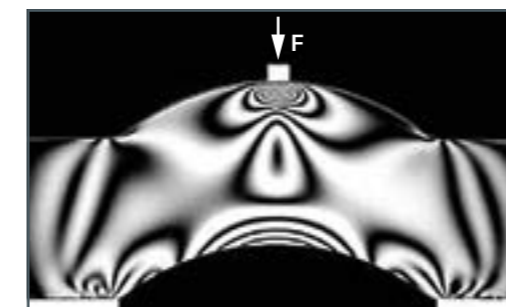
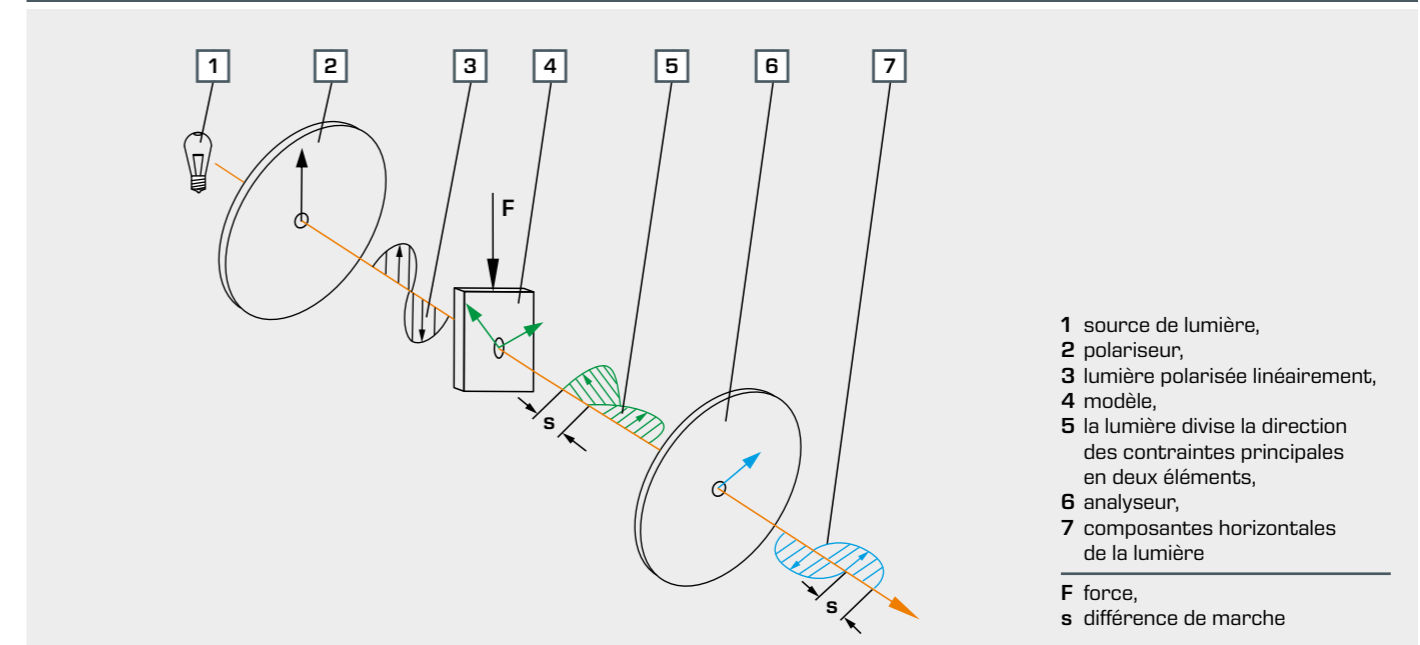


Représentation de la répartition des contraintes à l'aide de la photoélasticimétrie

La photoélasticimétrie est un procédé très parlant, dont le montage expérimental est simple, et qui permet de visualiser des contraintes bidimensionnelles dans le modèle d'un composant. Une lumière polarisée est diffusée à travers un modèle composé de plastiques transparents spéciaux, qui est soumis à une charge mécanique. Cette charge produit des contraintes dans le modèle. Des biréfringences apparaissent alors dans le plastique dans la direction des contraintes principales. Un filtre de polarisation (analyseur) permet de rendre visibles les contraintes présentes dans le modèle. La photoélasticimétrie fournit donc une image complète du champ de contraintes, offrant ainsi une bonne vue d'ensemble des zones ayant une concentration élevée

de contraintes, et de celles où les contraintes sont faibles. Cela permet de vérifier de manière parlante les observations faites sur les contraintes de manière analytique ou numérique. Les effets utilisés par ce procédé sont produits par une propriété des matériaux transparents qui deviennent biréfringents sous l'action d'une sollicitation mécanique et de la lumière. La biréfringence des plastiques apparaît dans la même direction que les contraintes principales. Ces propriétés physiques sont utilisées en photoélasticimétrie pour rendre visibles les contraintes et les allongements qu'elles produisent. C'est pourquoi on utilise, pour les essais, des modèles en matière plastique à la place des matériaux originaux.

Principe de la photoélasticimétrie



Le polariscope permet d'étudier des modèles transparents de composants dont les propriétés optiques se modifient sous l'influence de contraintes internes. Si le modèle est exempt de toute contrainte, il ne se produit aucune biréfringence et le modèle apparaît en noir. Si on lui applique par contre une charge croissante, une différence de marche apparaît, et celle-ci augmente proportionnellement au différentiel des contraintes principales.

L'arc représenté est soumis à la charge **F** à la manière d'une voûte. On distingue bien la forte densité isochromatique à l'intérieur du cercle de l'arc, à l'endroit où les contraintes sont les plus élevées. La lumière monochromatique offre un tracé précis des différentes lignes: on distingue très bien dans la figure du haut le tracé "en oignon" des lignes sous l'emplacement de l'application de la force.

FL 101

Kit d'application pour jauge de contrainte



Contenu didactique/essais

- principes de base de la mesure électrique de grandeurs mécaniques
- préparation du point de mesure
- sélection d'une jauge de contrainte appropriée
- fixation, raccordement et câblage de la jauge de contrainte sur des pièces exposées à des sollicitations mécaniques
- protection du point de mesure pour jauge de contrainte contre les effets extérieurs
- interprétation (théorique) des valeurs de mesure

Description

- **équipement complet pour l'application de jauges de contrainte avec connexion et raccordement de jauges de contrainte**
- **renforcement des capacités techniques lors de l'utilisation de la technique de mesure pour jauge de contrainte**

La mesure au moyen de jauges de contrainte est la méthode la plus importante de détermination de la déformation mécanique. Cette méthode de mesure permet d'effectuer des mesures électriques de grandeurs mécaniques.

La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte est relativement simple d'application. Elle présente une résolution élevée et peut être utilisée directement aux endroits pertinents. Une jauge de contrainte ne constitue néanmoins pas un appareil de mesure complet.

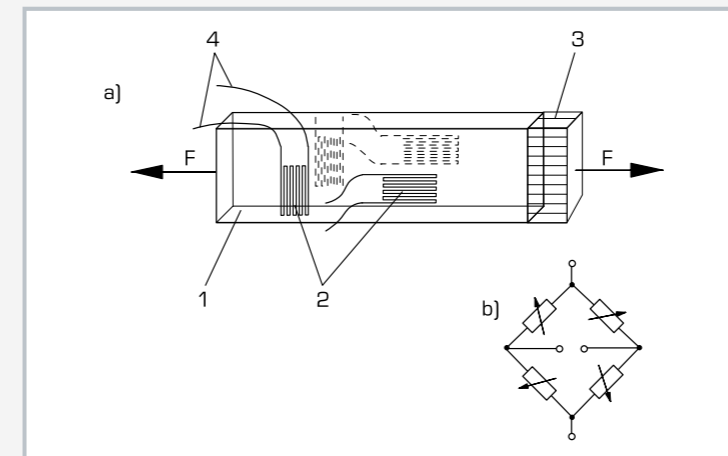
La jauge de contrainte doit d'abord être préparée par l'utilisateur afin d'être prête à l'emploi après une installation. La qualité de cette technique de mesure dépend non seulement de la jauge de contrainte, mais surtout du type d'application et de son exécution. Les jauges de contrainte fonctionnent avec une fiabilité élevée lorsque les utilisateurs maîtrisent parfaitement l'utilisation de ces éléments capteurs sensibles aussi bien sur le plan théorique que sur le plan technique.

Le kit d'application FL 101 offre tous les outils et aides nécessaires pour procéder à des exercices de base avec les jauges de contrainte. Pour que les points de mesure puissent fonctionner de manière optimale, les composants sont tout d'abord minutieusement préparés, puis équipés des jauges de contrainte correspondantes.

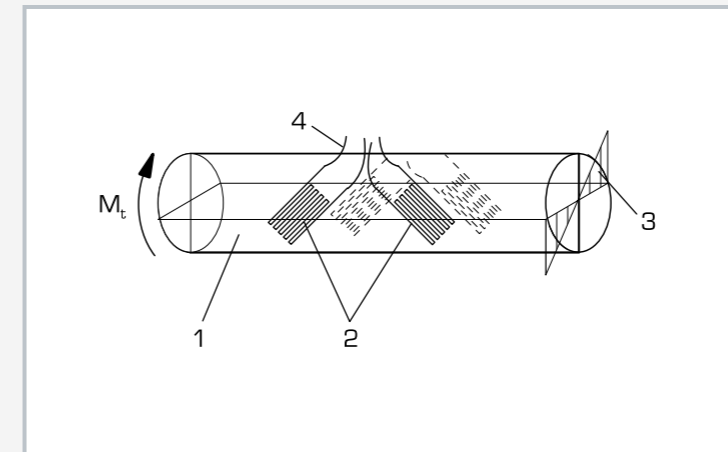
Des adhésifs spéciaux garantissent le transfert sans pertes des déformations du composant vers les jauges de contrainte. La jauge de contrainte est également protégée contre les effets extérieurs, notamment l'humidité ou les endommagements mécaniques, au moyen de revêtements appropriés.

Des fils de différents types prévus pour le raccordement des jauges de contrainte aux ponts et pour le câblage sont compris dans les accessoires fournis. Les fils sont fixés aux jauges de contrainte à l'aide du fer à souder et des cosses à souder fournis comme aides.

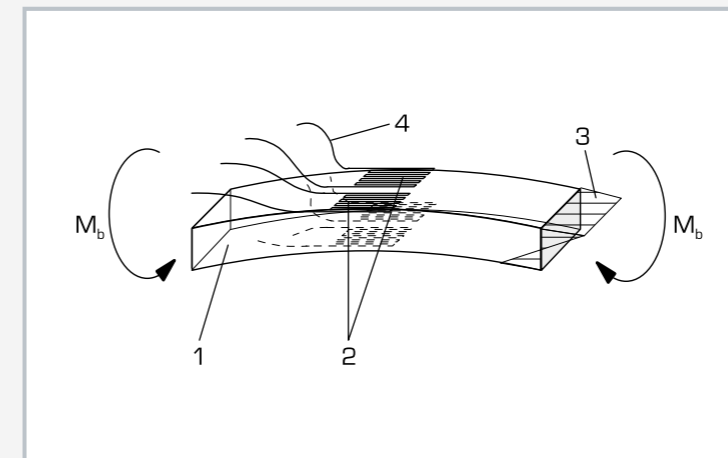
La documentation didactique (manuel spécialisé, script d'exercice et vidéo) propose une initiation multimédia aux procédures d'installation et de raccordement des jauges de contrainte et à la méthode d'interprétation des valeurs de mesure.



a) disposition des jauges de contrainte sur la barre de traction, b) raccordement des jauges de contrainte; 1 barre de traction, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage; F force appliquée



Disposition des jauges de contrainte sur la barre de torsion: 1 barre ronde, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage; M_t moment de torsion



Disposition des jauges de contrainte sur la poutre en flexion: 1 poutre, 2 jauge de contrainte, 3 répartition des contraintes, 4 câblage; M_b moment de flexion

Spécification

- [1] gamme de montage complète d'application de jauges de contrainte
- [2] jauges de contrainte avec grilles de mesure individuelles, grilles de mesure parallèles et grilles de mesure à un angle de 90° , 45°
- [3] jauges de contrainte pour composants en acier ou en aluminium
- [4] tous les outils, adhésifs et aides nécessaires sont contenus dans le kit
- [5] mallette de transport verrouillable
- [6] kit d'apprentissage avec manuel spécialisé, script d'exercice et vidéo
- [7] câble et fiches pour raccorder les jauges de contraintes appliquées à l'amplificateur de mesure FL 151 disponible comme accessoire

Caractéristiques techniques

Jauges de contrainte: 350 Ohm

- 10x avec grille de mesure montée séparém. pour St
- 10x avec grille de mesure montée en parall. pour St
- 10x avec grille de mesure 90° pour St
- 10x avec grille de mesure 45° pour St
- 10x avec grille de mesure montée séparém. pour Al

Fer à souder: 16W

Câble plat: $6 \times 0,14 \text{ mm}^2$

Loupe: grossissement 6x

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxhx: 470x360x170mm (mallette)

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 mallette de transport
- 1 jeu de jauges de contrainte
- 1 kit d'application complet (solvants, détergents, adhésif spécial pour jauge de contrainte, ruban adhésif, revêtement)
- 1 jeu de pinces
- 2 ciseaux
- 1 jeu d'outils d'application
- 1 jeu d'outils de coupe
- 1 fer à souder, cosses à souder
- 1 jeu d'accessoires (outils de mesure, loupe, câble plat, toile abrasive, crayon, gomme à effacer)
- 1 kit d'apprentissage pour jauge de contrainte (manuel spécialisé, script d'exercice, vidéo) en allemand ou en anglais
- 8 fiches à 6 voies pour raccordement au FL 151
- 5m câble pour raccordement au FL 151

FL 100

Système didactique pour jauge de contrainte



Description

- initiation de base aux méthodes de mesure au moyen de jauges de contrainte
- barres d'essai pour la traction la flexion et la torsion avec points de mesure pour jauge de contrainte en pont intégral
- amplificateur de mesure mono-voie universel

Les jauges de contrainte sont largement utilisées en tant que capteurs pour l'enregistrement de forces, moments et déformations.

L'appareil d'essai FL 100 offre une introduction détaillée aux principes de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte. Trois éprouvettes pour les efforts de traction, de flexion et de torsion sont équipées de quatre points de mesure pour jauge de contrainte. Les jauges de contrainte sont montées en pont intégral. Une charge définie est générée à l'aide des poids. Les déformations peuvent ainsi être enregistrées par calcul.

Les éprouvettes peuvent être utilisées rapidement et avec précision dans les bâtis. La zone des points de mesure pour jauge de contrainte est protégée par une plaque en plexiglas et parfaitement visible.

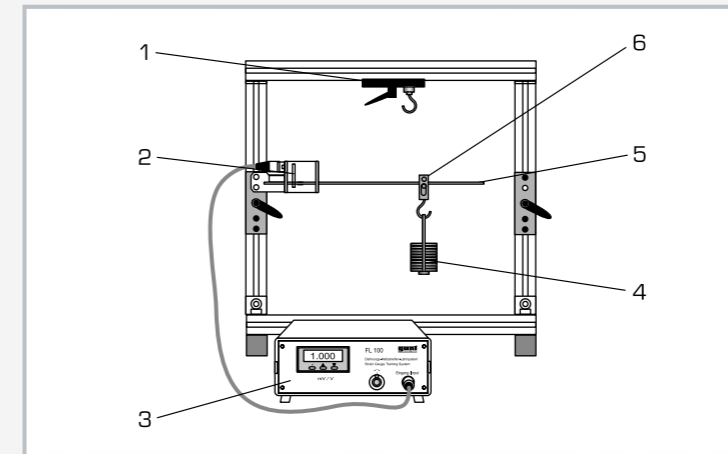
L'amplificateur de mesure fournit la tension d'alimentation du pont et affiche sous forme de valeurs de tension numériques le "désaccord du pont" en fonction de la charge. L'affichage numérique dispose également d'une fonction de tarage permettant d'exclure l'influence des précharges.

Les pièces d'essai sont logées de manière claire et protégée dans un système de rangement.

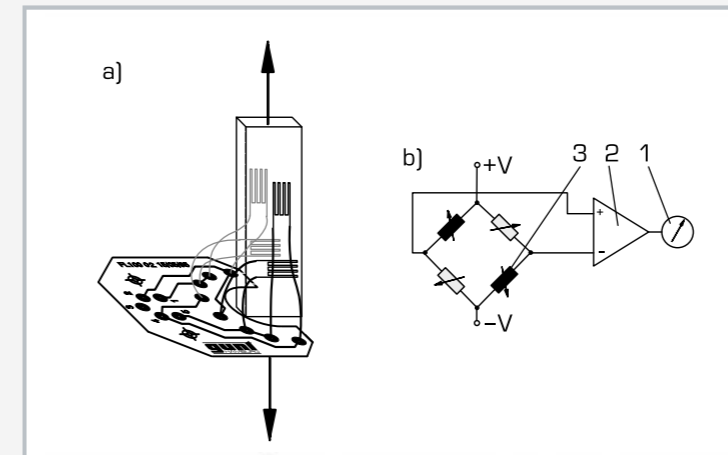
Trois autres barres de traction sont disponibles comme accessoires: en laiton (FL 100.01), en cuivre (FL 100.02) et en aluminium (FL 100.03). Il est ainsi possible de déterminer les modules d'élasticité dans les essais.

Contenu didactique/essais

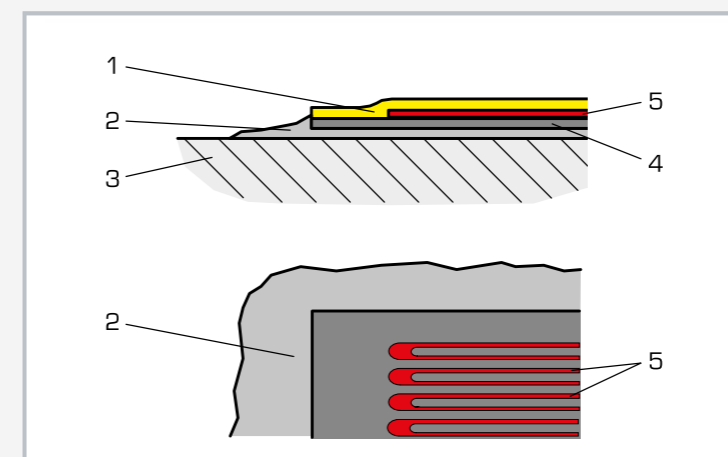
- principes de base de la mesure au moyen des jauges de contrainte
- types de jauges de contrainte et aux techniques d'application
- calcul des déformations mécaniques en cas de traction, flexion et torsion
- rapport entre déformation mécanique et réaction électrique dans une jauge de contrainte
- avec FL 100.01, FL 100.02, FL 100.03: détermination du module d'élasticité pour différents matériaux à partir des données de mesure d'un essai de traction



1 support, 2 point de mesure pour jauge de contrainte, 3 amplificateur de mesure, 4 poids, 5 poutre en flexion, 6 cavalier coulissant



a) disposition des jauges de contrainte sur la barre de traction (pont intégral)
b) montage en pont intégral: 1 affichage, 2 amplificateur, 3 jauge de contrainte



Structure d'un point de mesure pour jauge de contrainte: 1 couche protectrice, 2 adhésif, 3 composant, 4 feuille de support, 5 grille de mesure

Spécification

- [1] appareil d'essai servant à l'apprentissage des bases de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte
- [2] essais de traction, de flexion et de torsion avec point de mesure pour jauge de contrainte dans un montage en pont intégral
- [3] zone d'application de jauges de contrainte protégée par une plaque en plexiglas
- [4] éprouvette en acier
- [5] amplificateur de mesure avec affichage numérique à 4 chiffres
- [6] bâti servant au logement des objets de mesure
- [7] détermination du module d'élasticité sur différents matériaux à l'aide des objets de mesure FL 100.01, FL 100.02, FL 100.03
- [8] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Barre de traction

- longueur de mesure: 50mm
- section: $2 \times 10 \text{ mm}^2$
- module d'élasticité: 191000 N/mm^2
- coefficient de Poisson: 0,305

Poutre en flexion

- longueur: 385mm
- section: $5 \times 20 \text{ mm}^2$
- module d'élasticité: 210000 N/mm^2
- moment résistant: $74,26 \text{ mm}^3$

Barre de torsion

- longueur: 500mm, $\varnothing = 10 \text{ mm}$
- moment résistant polaire: $196,3 \text{ mm}^3$
- module de glissement: 80000 N/mm^2

Poids

- petit: 10x 0,5N, 1x 1N (suspente)
- grand: 1x 5N, 2x 10N, 1x 20N, 1x 5N (suspente)

Point de mesure pour jauge de contrainte pont intégral, 350Ω

Amplificateur

- plage de mesure: $\pm 24 \text{ mV}$
- résolution: $1 \mu \text{V}$
- plage de réglage avec équilibrage à zéro: $\pm 1 \text{ mV}$
- tension d'alimentation: 10VCC
- Ouverture du bâti lxh: 480x450mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 560x410x610mm (bâti)

Lxlxh: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 20kg

Liste de livraison

- 1 bâti
- 3 éprouvettes pour jauge de contrainte
- 2 jeux de poids
- 2 clés pour vis à six pans creux
- 1 amplificateur de mesure avec câble de raccordement pour jauge de contrainte
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

FL 102

Détermination du facteur k par les jauges de contrainte



Description

- mesure du fléchissement et des déformations
- détermination de la sensibilité à la déformation (facteur k) par les jauges de contrainte

Utilisés comme outils universels dans l'analyse des contraintes expérimentales, les jauges de contrainte offrent la possibilité de transformer les grandeurs mécaniques en grandeurs électriques. Les grandeurs électriques ainsi générées deviennent alors accessibles pour le traitement électrique des signaux et permettent de mesurer la résistance à la traction et la résistance à la compression.

Si un dispositif de mesure fonctionne correctement, la valeur numérique de la grandeur de mesure enregistrée doit correspondre à celle de la valeur de mesure indiquée. Lors des planifications et des évaluations des mesures, la sensibilité à la déformation (facteur k) est prise en compte par les jauges de contrainte. Une caractéristique importante des jauges de contrainte, le facteur k, indique le rapport entre la déformation et la modification de la résistance.

L'appareil d'essai FL 102 permet de mesurer simultanément les déformations à l'aide d'un comparateur à cadran et les allongements à l'aide d'un pont intégral pour jauge de contrainte.

La sensibilité à la déformation des jauges de contrainte est ensuite calculée à partir des mesures.

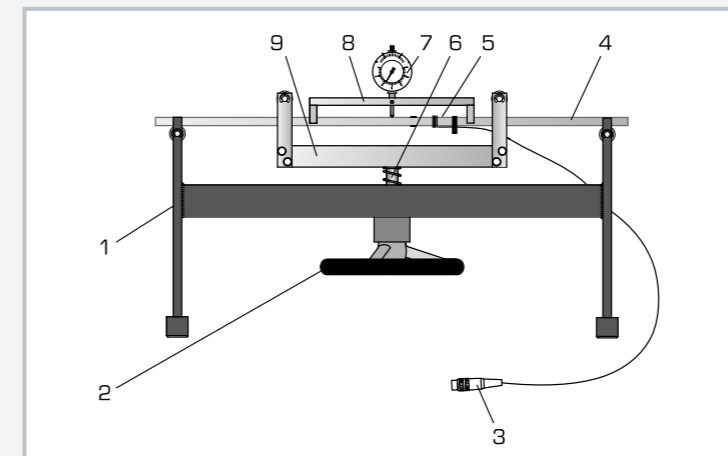
Dans le montage expérimental, une barre est montée sur roulements à billes à deux endroits, permettant ainsi une flexion pure. La poutre est chargée à l'aide d'une broche, puis le fléchissement est enregistré par un comparateur à cadran. La déformation peut ainsi être lue directement. Dans le même temps, la déformation à la surface de la poutre est enregistrée par deux jauges de contrainte sur le côté compression et par deux jauges de contrainte sur le côté traction. Les jauges de contrainte sont montées en pont intégral. L'amplificateur de mesure fournit la tension d'alimentation du pont et affiche sous forme de valeurs de tension numériques le "désaccord du pont" en fonction de la charge. L'affichage numérique dispose également d'une fonction de tarage permettant d'exclure l'influence des précharges.

Le facteur k inconnu peut alors être calculé en tant que caractéristique essentielle à partir du fléchissement des mesures au moyen des jauges de contrainte.

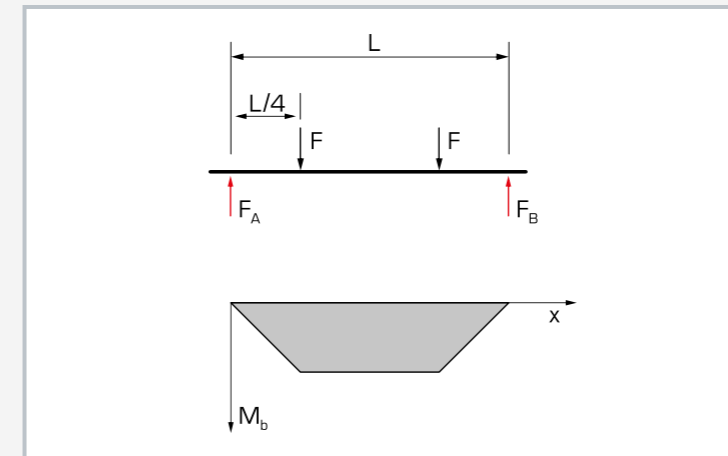
Les bases pratiques, comme p. ex. l'application des jauges ou le raccordement à un pont de mesure, peuvent être parfaitement intégrées dans le concept d'apprentissage.

Contenu didactique/essais

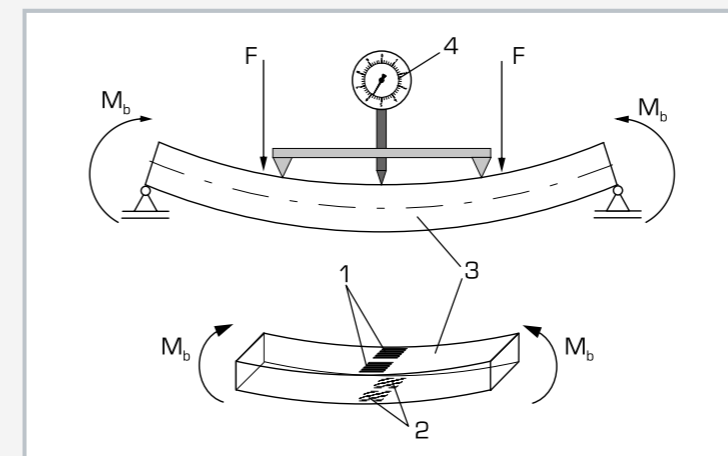
- principes de base de la mesure au moyen de jauges de contrainte
- mesure du fléchissement à l'aide d'un comparateur à cadran
- détermination de la sensibilité à la déformation par les jauges de contrainte, facteur k



1 bâti de base, 2 volant à main, 3 raccord à l'amplificateur de mesure, 4 poutre en flexion, 5 point de mesure pour jauge de contrainte, 6 broche, 7 comparateur à cadran, 8 support pour comparateur à cadran, 9 traverse



Forces et courbe du moment de flexion élastique sur poutre en flexion: noir: force appliquée, rouge: réactions d'appui



1 jauge de contrainte sur la face supérieure de la poutre (côté compression), 2 jauge de contrainte sur la face inférieure de la poutre (côté traction), 3 poutre en flexion, 4 comparateur à cadran; M_b moment de flexion, F force appliquée

Spécification

- [1] étude du fléchissement et des déformations afin de déterminer le facteur k
- [2] poutre en flexion avec 2 jauges de contrainte côté compression et 2 jauges de contrainte côté traction
- [3] jauges de contrainte montées en pont intégral
- [4] montage de la poutre sur roulement à billes en 2 endroits, permettant une flexion pure
- [5] dispositif de charge mécanique avec broche, volant à main et traverse
- [6] comparateur à cadran avec support sans liaison fixe pour une mesure directe du fléchissement
- [7] amplificateur de mesure avec affichage numérique à 4 chiffres

Caractéristiques techniques

Poutre en flexion en acier: 660x25x12mm

Application de jauges de contrainte

- pont intégral, 350 Ohm
- 2 jauges de contrainte sur le côté supérieur et 2 autres sur le côté inférieur de la poutre

Amplificateur

- plage de mesure: $\pm 2\text{mV/V}$
- résolution: $1\mu\text{V/V}$
- plage de réglage avec équilibrage à zéro: $\pm 1\text{mV}$
- tension d'alimentation: 10VCC

Comparateur à cadran

- 0...20mm
- graduation: 0,01mm

Lxlxh: 660x200x430mm

Poids: env. 20kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 support
- 1 amplificateur de mesure
- 1 clé pour vis à six pans creux
- 1 documentation didactique

FL 152: acquisition et évaluation assistées par ordinateur des signaux des jauges de contrainte

SE 110.21

Forces dans différents treillis plans



Page 38

FL 120

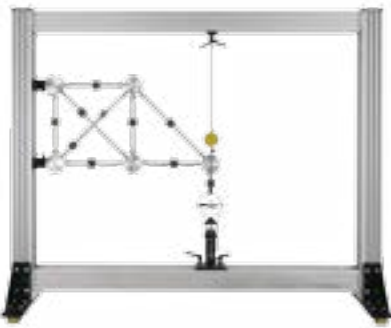
Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme



Page 130

SE 110.22

Forces dans un treillis hyperstatique



Page 40

FL 130

Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



Page 132

SE 130

Forces dans un treillis type Howe



Page 42

FL 140

Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse



Page 134

L'appareil FL 152 sert à amplifier les signaux de mesure lorsque l'on enregistre des forces ou des contraintes (et donc des déformations) à l'aide de jauges de contrainte sur nos appareils d'essai. Ces signaux sont traités et exploités au sein d'un logiciel GUNT.

L'appareil dispose de 16 voies d'entrée permettant de traiter les signaux de mesure analogiques envoyés par les jauges de contrainte.

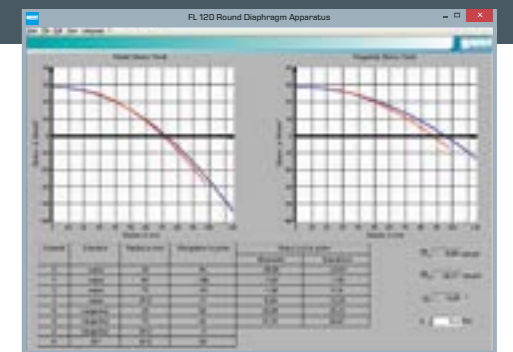
Le FL 152 peut soit être utilisé en tant qu'appareil autonome, soit être relié à un PC par l'intermédiaire d'une interface USB.

Ce logiciel GUNT a été conçu pour accompagner de manière didactique l'apprentissage dans le domaine de l'analyse des contraintes et de l'analyse des treillis.

- commande par écran tactile
- affichage des valeurs de mesure, au choix directement sur l'appareil ou sur le PC

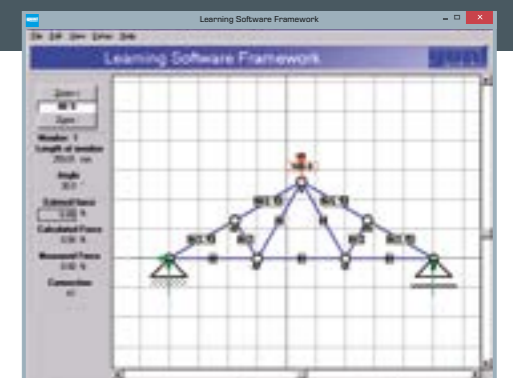
Logiciel GUNT dans FL 152 pour la réalisation et l'évaluation d'essais sur l'analyse des contraintes

- lecture des valeurs de mesure et sauvegarde dans un fichier
- représentation des courbes des déformations et des contraintes
- calcul des déformations principales et des contraintes principales
- évaluation de l'essai à l'aide du cercle de Mohr des déformations
- système d'exploitation: Windows



Logiciel GUNT dans FL 152 pour la réalisation et l'évaluation d'essais sur l'analyse des treillis

- accompagnement dans la réalisation et l'évaluation des essais
- simulation de treillis
- treillis configurables
- comparaison des forces en présence: théorie et mesure
- impression possible des feuilles de travail



FL 152

Amplificateur de mesure multivoie



Description

- 16 voies d'entrée pour traiter les signaux de mesure analogiques des jauges de contrainte, raccordement simple via un connecteur d'entrées multiples
- logiciel intégré pour l'évaluation des essais d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)

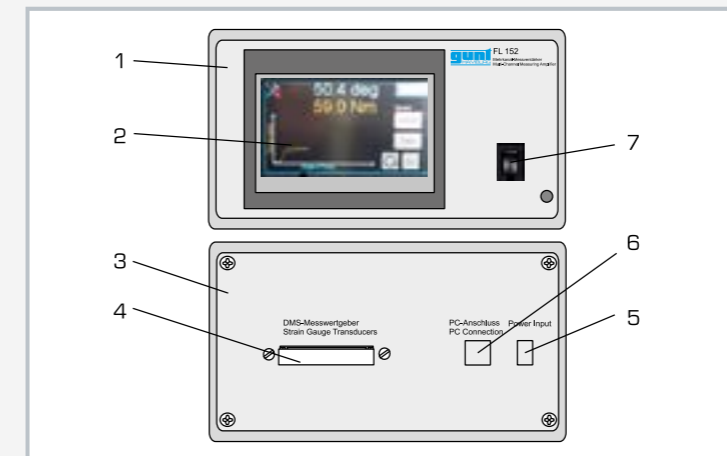
Les contraintes présentes dans les composants sont déterminées dans l'analyse des contraintes expérimentales en mesurant les déformations. Dans l'industrie, les déformations sont souvent enregistrées à l'aide de jauges de contrainte. Les jauges de contrainte ne fournissant que de petits signaux de mesure analogiques, ces signaux doivent être amplifiés par des amplificateurs de mesure. Ils sont ensuite convertis en impulsions numériques et affichés comme valeurs de mesure. Les valeurs de mesure peuvent être évaluées et traitées avec le PC.

Le FL 152 est un amplificateur de mesure multivoie qui alimente les circuits à pont pour jauges de contrainte et permet de traiter les signaux de mesure reçus. L'amplificateur de mesure contient 16 voies d'entrée. Les points de mesure pour jauge de contrainte sont raccordés via un connecteur multiple 68 pôles.

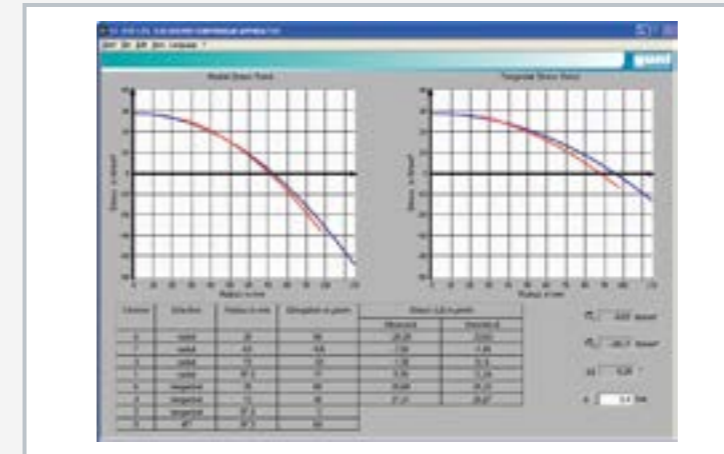
L'utilisation de l'amplificateur de mesure multivoie s'effectue à l'aide d'un écran tactile ou à l'ordinateur à l'aide du logiciel fourni. La liaison au PC est assurée par une connexion USB. Les valeurs de mesure peuvent être lues et enregistrées sur le PC (p. ex. avec MS Excel).

Contenu didactique/essais

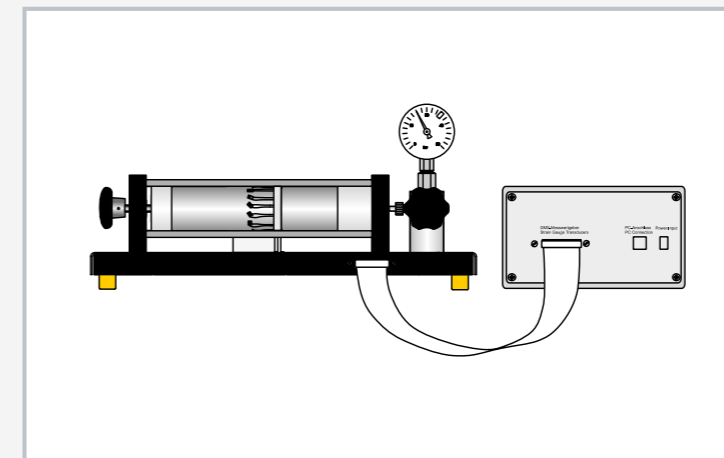
- amplification des signaux à partir des points de mesure pour jauge de contrainte
- traitement des valeurs de mesure sur le PC
- évaluation des essais d'analyse des contraintes concernant: FL 120, FL 130, FL 140
- interprétation des essais de forces dans les treillis concernant: SE 130, SE 110.21, SE 110.22



1 vue avant, 2 écran tactile, 3 vue arrière de l'appareil, 4 raccordement des points de mesure pour jauge de contrainte, 5 alimentation électrique, 6 interface USB, 7 commutateur principal



Logiciel d'application pour les analyses des contraintes par exemple avec le FL 120 (analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme)



Exemple d'application: FL 152 associé au FL 130 (analyse des contraintes au niveau du réservoir à paroi mince)

Spécification

- [1] amplificateur de mesure multivoie servant à traiter les signaux des jauges de contrainte
- [2] raccordement des jauges de contrainte en pont intégral ou en demi-pont
- [3] raccordement des jauges de contrainte via un connecteur d'entrée 68 pôles
- [4] tarage automatique des valeurs de mesure
- [5] traitement des valeurs de mesure directement dans l'amplificateur de mesure ou sur le PC à l'aide du logiciel fourni
- [6] logiciel intégré pour appareils d'essai concernant d'analyse des contraintes (FL 120, FL 130, FL 140) et des essais de forces dans les treillis (SE 130, SE 110.21, SE 110.22)
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Amplificateur

- nombre de voies d'entrée: 16

Raccordement des jauges de contrainte en pont intégral ou en demi-pont

- résistance: min. 350 Ohm/jauge de contrainte
- tension d'alimentation des jauges de contrainte: $\pm 5VCC$

Tension d'entrée: max. $\pm 32mV$

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 230x200x120mm
Poids: env. 2kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 amplificateur de mesure multivoie
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 notice

FL 120**Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme****Description**

- fléchissement et déformation d'un diaphragme soumis à une charge de compression
- diaphragme avec application de jauges de contrainte
- détermination des profils de contraintes radiales et tangentielles à partir des déformations mesurées

Pour l'analyse expérimentelle des contraintes, on utilise des jauges de contrainte pour déterminer les contraintes présentes dans les composants et les constructions. Les contraintes maximales constituent des grandeurs déterminantes pour la construction, et permettent de définir les dimensions d'un composant. La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte fournit les valeurs de mesure des déformations, qui sont requises pour calculer les contraintes mécaniques.

L'appareil d'essai FL 120 permet de mesurer le fléchissement et la déformation d'un disque circulaire soumis à différentes contraintes de compression. À cet effet, un disque circulaire mince, également appelé diaphragme, est fermement serré et soumis à une compression.

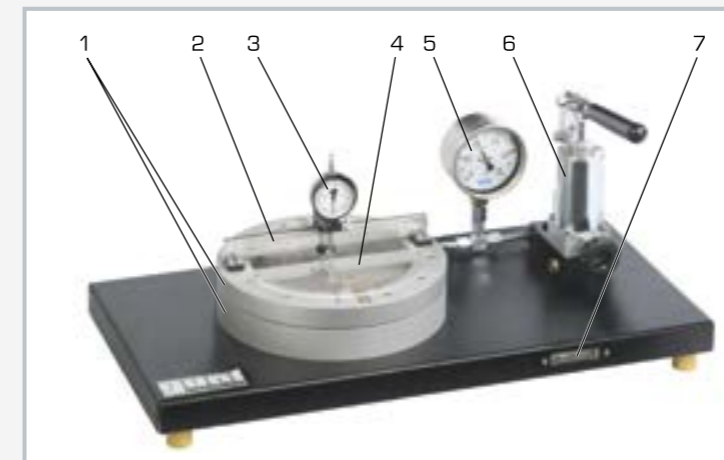
Un cylindre à commande manuelle avec piston génère une pression dans un système hydraulique sans entretien. Cette pression s'affiche sur un manomètre. Les déformations à la surface du diaphragme sont enregistrées par des jauges de contrainte. La disposition des jauges de contrainte à des emplacements optimaux offre un bon aperçu de la courbe des contraintes sur le disque circulaire.

Les contraintes maximales qui apparaissent sont calculées à l'aide de la loi d'élasticité. Les valeurs de mesure des jauges de contrainte sont enregistrées et affichées à l'aide de l'amplificateur de mesure FL 152. Afin de faciliter l'interprétation de l'essai et de la représenter de manière explicite, il est possible de sauvegarder les valeurs de mesure dans le logiciel d'application.

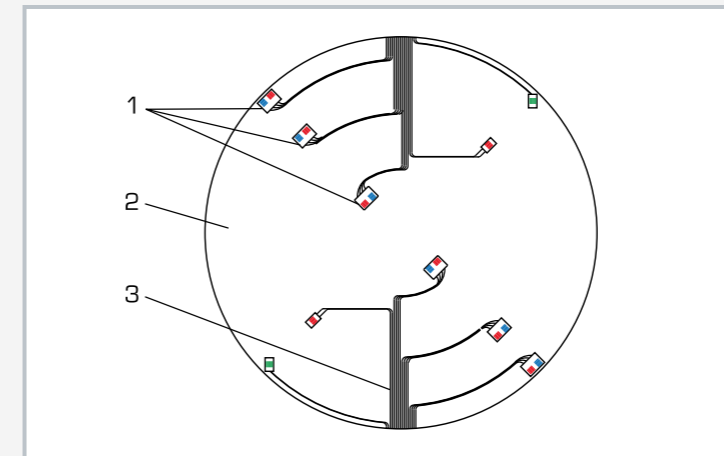
Dans le même temps, on mesure le fléchissement du diaphragme à l'aide d'un comparateur à cadran. Le comparateur à cadran peut être déplacé sur une traverse et permet d'effectuer des mesures sur chaque rayon souhaité.

Contenu didactique/essais

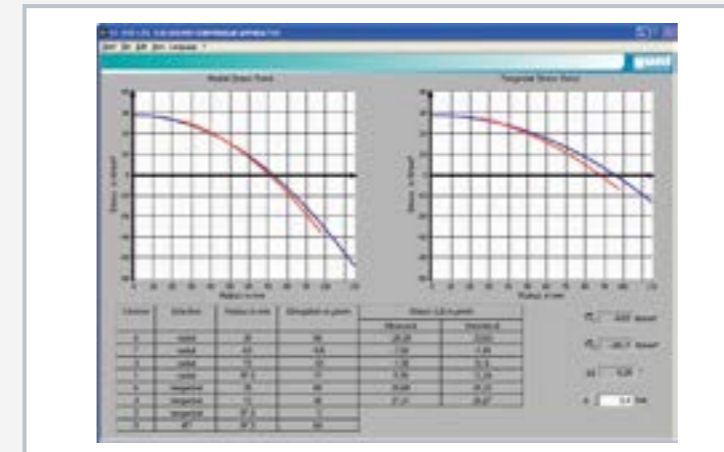
- mesure de la déformation radiale et de la déformation tangentielle à l'aide de jauges de contrainte
- mesure du fléchissement à l'aide d'un comparateur à cadran
- calcul des contraintes à partir des déformations mesurées: contrainte radiale, contrainte tangentielle
- détermination de la direction des contraintes principales
- utilisation du cercle de Mohr des déformations pour la détermination des déformations principales
- principe de base: mesure des déformations à l'aide de la technique de mesure basée sur la jauge de contrainte



1 serrage pour disque circulaire, 2 traverse avec graduation, 3 comparateur à cadran, 4 disque circulaire, 5 manomètre, 6 pompe hydraulique, 7 raccord pour amplificateur de mesure FL 152



Disposition des jauges de contrainte sur le disque circulaire: 1 points de mesure pour jauge de contrainte, 2 disque circulaire, 3 câblage, en rouge: déformations dans la direction radiale; en bleu: déformations dans la direction tangentielle, en vert: poussée



Logiciel d'application pour analyse des contraintes: représentation de la courbe des contraintes

Spécification

- [1] étude du fléchissement et de la déformation d'un disque circulaire mince soumis à une contrainte de compression
- [2] jauges de contrainte mesurant la déformation dans la direction radiale et la direction tangentielle
- [3] jauge de contrainte installée comme pont intégral
- [4] mesure du fléchissement possible sur chaque rayon
- [5] mesure du fléchissement par comparateurs à cadran coulissant, échelle indique la position sur le long du rayon
- [6] système hydraulique fermé hermétiquement, sans entretien pour générer de la pression
- [7] cylindre hydraulique avec pompe hydraulique et manomètre
- [8] l'amplificateur de mesure FL 152 requis
- [9] logiciel d'analyser les valeurs de mesure dans FL 152

Caractéristiques techniques

- Disque circulaire en aluminium
- diamètre externe: $\varnothing=230\text{mm}$
 - diamètre utilisé dans l'essai: $\varnothing=200\text{mm}$
 - épaisseur: 3mm

- Application de jauges de contrainte
- 8 jauges de contrainte: demi-ponts, 350 Ohm
 - facteur k: $2,00 \pm 1\%$
 - tension d'alimentation: 10V

- Comparateur à cadran
- 0...20mm
 - graduation: 0,01mm

- Manomètre
- 0...1bar
 - précision: classe 1,0

Pression du système: max. 0,6bar

Lxlxh: 700x350x350mm
Poids: env. 25kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

FL 130

Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince



Description

- déformation d'un réservoir soumis à une pression intérieure
- cylindre avec application de jauges de contrainte sous forme de réservoir
- états de contraintes axiales ou biaxiales représentés dans l'essai

Pour dimensionner des conduites, des réservoirs sous pression ou des chaudières, on les classe parmi les réservoirs à paroi mince. Pour le calcul et la conception de ces réservoirs, les contraintes principales constituent les grandeurs déterminantes. Les contraintes présentes dans un réservoir ne sont pas mesurées directement mais sont déterminées via la mesure des déformations à la surface (technique de mesure basée sur la jauge de contrainte).

L'appareil d'essai FL 130 permet d'étudier les contraintes sur un réservoir à paroi mince soumis à une pression intérieure. Le réservoir rempli d'huile est fermé hermétiquement d'un côté à l'aide d'un couvercle, et doté de l'autre côté d'une fermeture mobile avec un piston. Le piston peut être déplacé à l'aide d'un volant à main pourvu d'une broche filetée.

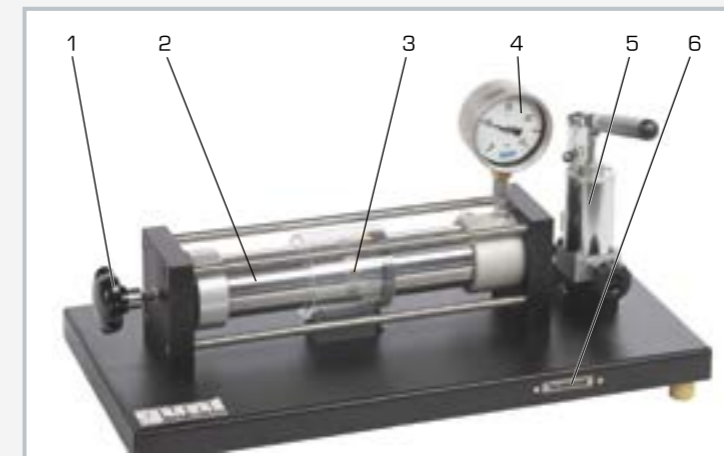
Deux cas de charges sont représentés: l'état de contrainte axiale d'un réservoir fermé, p.ex. une chaudière, et l'état de contrainte biaxiale d'un réservoir ouvert, p.ex. un conduit.

Une pompe hydraulique génère une pression intérieure dans le réservoir. Un manomètre indique la pression intérieure. La surface du réservoir est pourvue de jauges de contrainte qui enregistrent les déformations présentes. L'amplificateur de mesure FL 152 affiche les signaux sous la forme de valeurs de mesure. Afin de faciliter l'interprétation de l'essai et de la représenter de manière explicite, il est possible de sauvegarder les valeurs de mesure dans le logiciel d'application.

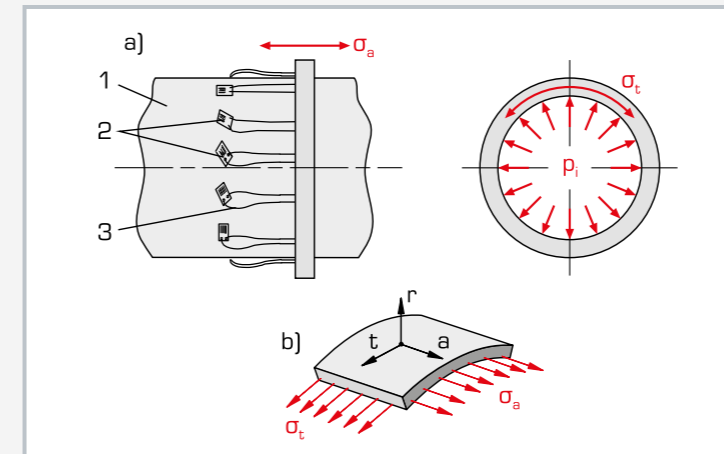
Le cercle de Mohr des contraintes permet de représenter graphiquement la transformation des déformations et de déterminer les déformations principales. À l'aide de la loi d'élasticité, on peut calculer les contraintes principales à partir des déformations principales.

Contenu didactique/essais

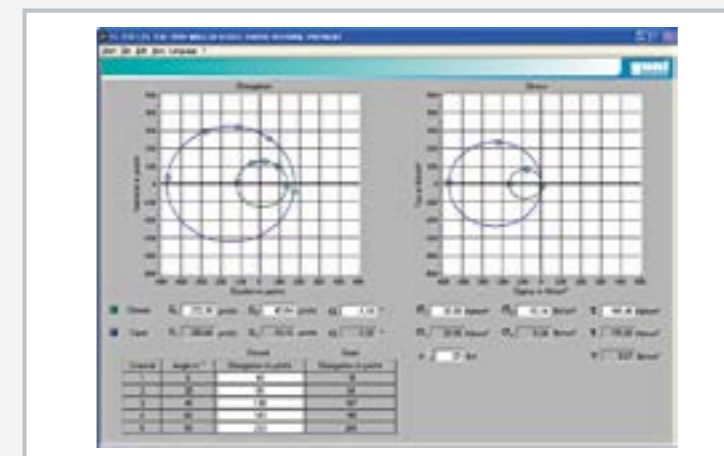
- mesure des déformations au moyen de jauges de contrainte
- application du cercle de Mohr des contraintes, calcul de la déformation principale
- détermination des contraintes principales selon la taille et la direction
 - ▶ pour un réservoir ouvert (tube)
 - ▶ pour un réservoir fermé (chaudière)
- comparaison entre réservoir ouvert/ réservoir fermé
- détermination du coefficient de Poisson
- étude des rapports entre déformations, compressions et contraintes pour un état de contrainte biaxiale plane



1 volant à main pour ajustage du piston, 2 réservoir, 3 point de mesure pour jauge de contrainte, 4 manomètre, 5 cylindre hydraulique avec pompe hydraulique, 6 raccord pour l'amplificateur de mesure FL 152



a) disposition des jauges de contrainte sur le réservoir: 1 réservoir, 2 points de mesure pour jauge de contrainte, 3 câblage, σ_a contrainte dans la direction de l'axe du réservoir; σ_t contrainte dans la direction périphérique, p_i pression intérieure; b) contrainte plane dans la paroi: a direction axiale, t direction périphérique, r direction radiale



Saisie d'écran du logiciel FL 152: cercle de Mohr

Spécification

- [1] étude des contraintes dans un réservoir à paroi mince soumis à une pression intérieure
- [2] cylindre pouvant être utilisé comme tube ouvert ou comme réservoir fermé
- [3] application de jauges de contrainte sur la surface du réservoir à différents angles
- [4] système hydraulique fermé hermétiquement, sans entretien, pour la génération de la charge de compression
- [5] cylindre hydraulique avec pompe hydraulique et manomètre
- [6] amplificateur de mesure FL 152 requis
- [7] logiciel d'exploitation des valeurs de mesure dans le FL 152

Caractéristiques techniques

Réservoir en aluminium

- longueur: 400mm
- diamètre: $\varnothing=75\text{mm}$
- épaisseur des parois: 2,8mm
- pression interne: max. $3,5\text{N}/\text{mm}^2$ (35bar)

Application de jauges de contrainte

- 5 jauges de contrainte: demi-ponts, 350 Ohm
- positions angulaires par rapport à l'axe du réservoir: $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$
- facteur k: $2,00 \pm 1\%$
- tension d'alimentation: 10V

Manomètre

- 0...40bar
- précision: classe 1,0

Lxlxh: 700x350x350mm

Poids: env. 21kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

FL 140**Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse****Description**

- contraintes normales d'un réservoir soumis à une pression intérieure
- réservoir avec application de jauges de contrainte sur la surface et dans la paroi
- contrainte triaxiale dans la paroi du réservoir

Contrairement aux réservoirs à paroi mince, la conception des réservoirs à paroi épaisse doit tenir compte d'une répartition des contraintes irrégulières sur l'épaisseur de la paroi. Un réservoir à paroi épaisse sous pression intérieure présente une contrainte triaxiale, avec les contraintes normales suivantes: contraintes radiales, tangentiels et axiales.

Les contraintes présentes dans un réservoir ne pouvant être mesurées directement, elles sont déterminées via une mesure des déformations à la surface. La technique de mesure basée sur la jauge de contrainte permet d'enregistrer les déformations sous forme de grandeurs électriques et de déterminer les contraintes à partir de ces grandeurs.

L'appareil d'essai FL 140 permet d'étudier les contraintes normales sur un réservoir à paroi épaisse soumis à une pression intérieure.

Le réservoir rempli d'huile se compose de deux parties et est fermé des deux côtés. La pression intérieure est générée dans le réservoir à l'aide d'une pompe hydraulique.

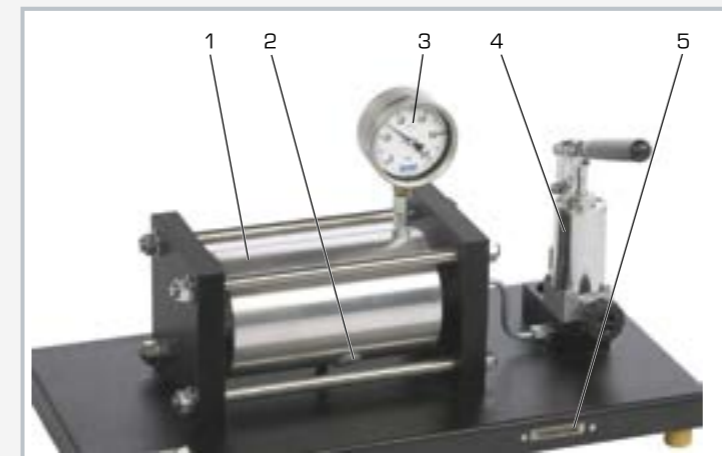
Un manomètre indique la pression intérieure. Une rainure excentrique dans laquelle des jauges de contrainte sont installées sur différents rayons est fraisée entre les deux parties du réservoir. D'autres jauges de contrainte sont également placées sur la surface intérieure et la surface extérieure du réservoir. Les déformations dans la direction radiale, tangentielle et axiale sont mesurées et l'état des déformations peut être enregistré complètement.

L'amplificateur de mesure FL 152 indique les signaux enregistrés comme valeurs de mesure. Pour faciliter et représenter clairement les résultats de l'essai, les valeurs de mesure peuvent être reprises par le logiciel d'application.

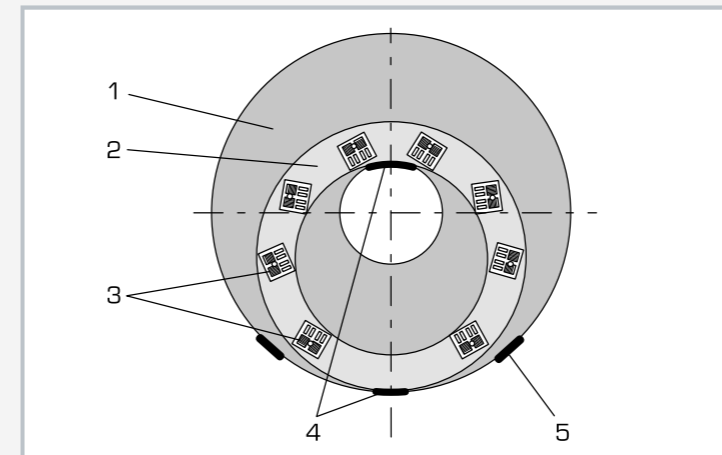
La contrainte triaxiale dans la paroi du réservoir est représentée graphiquement à l'aide du cercle de Mohr des contraintes. Les contraintes normales sont calculées à l'aide de la loi d'élasticité à partir des déformations mesurées.

Contenu didactique/essais

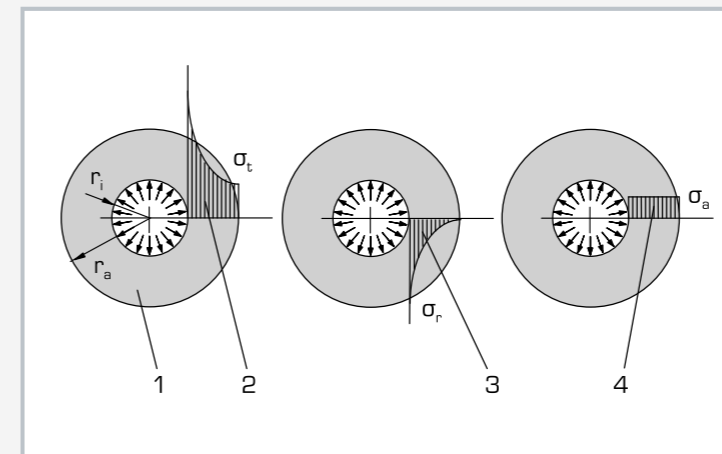
- mesure des déformations à l'aide de jauges de contrainte
- application du cercle de Mohr des contraintes pour la contrainte triaxiale
- détermination de la répartition des contraintes normales dans le sens
 - ▶ radial, tangentiels et axial
- étude des rapports entre les déformations, la pression et les contraintes dans l'état de contrainte triaxiale



1 réservoir, 2 point de mesure pour jauge de contrainte, 3 manomètre, 4 pompe hydraulique, 5 raccord pour l'amplificateur de mesure FL 152



Disposition des jauges de contrainte dans la paroi du réservoir et sur la surface du réservoir: 1 réservoir, 2 rainure excentrique; jauges de contrainte: 3 direction radiale/tangentielle, 4 direction tangentielle, 5 direction axiale



Evolution des contraintes dans la paroi du réservoir: 1 réservoir, r_i : rayon intérieur, r_a : rayon extérieur; répartition des contraintes dans la direction: 2 σ_t tangentielle, 3 σ_r radiale, 4 σ_a axiale

Spécification

- [1] étude des contraintes dans un réservoir à paroi épaisse soumis à une pression intérieure
- [2] réservoir en deux parties avec rainure plate fraisée
- [3] application de jauges de contrainte sur différents rayons dans la rainure et sur la surface du réservoir
- [4] pompe hydraulique pour générer la pression
- [5] système hydraulique fermé hermétiquement
- [6] fiche multipolaire disponible pour l'amplificateur de mesure FL 152
- [7] documentation didactique, bien structurée, avec les principes de base

Caractéristiques techniques

Réservoir en aluminium

- longueur: 300mm
- diamètre: $\varnothing=140\text{mm}$
- épaisseur de paroi: 50mm
- pression intérieure: max. 7N/mm^2 (70bar)

Application de jauges de contrainte

- 11 jauges de contrainte: demi-ponts, 3500hm
- facteur k: $2,00 \pm 1\%$
- tension d'alimentation: 10V

Manomètre

- 0...100bar
- précision: classe 1,0

Lxlxh: 700x350x330mm

Poids: env. 32kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

FL 200

Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission



L'illustration montre l'appareil d'essai avec un modèle de FL 220.01

Contenu didactique/essais

- en association avec les accessoires ou les modèles du laboratoire:
 - ▶ génération d'états de contrainte plane dans différents modèles soumis à une charge: flexion, charge de traction, charge de compression
 - ▶ étude des répartitions des contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire
 - ▶ interprétation de tracés de lignes obtenus par photoélasticimétrie: concentrations de contraintes, zéros, fibre neutre, plages de contrainte constante, gradients de contrainte
 - ▶ détermination graphique et par calculs des contraintes présentes

Description

- lumière blanche ou monochromatique
- génération d'images de contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire
- commande possible de modèles adaptés à des problématiques spécifiques

La photoélasticimétrie est une méthode éprouvée d'analyse et d'enregistrement des contraintes mécaniques dans les composants. Elle est utilisée aussi bien pour effectuer des mesures quantitatives que pour démontrer des états de contrainte complexes. On utilise comme composants des modèles en plastique transparent et à forte sensibilité photoélastique, plastique qui devient biréfringent lorsqu'il est soumis à une charge mécanique.

Le FL 200 permet d'effectuer des essais de photoélasticimétrie sur des modèles en plastique transparents et plats.

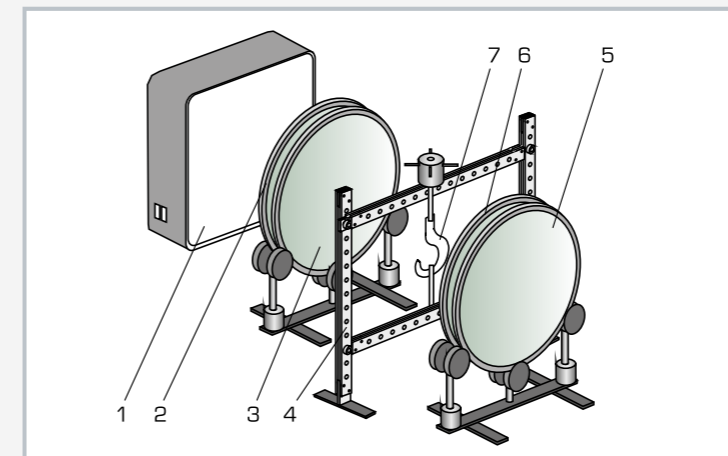
Les modèles sont soumis à des charges externes, et traversés par une lumière à polarisation circulaire. La lumière ayant traversé le corps est observée au moyen d'un analyseur.

Le montage expérimental comprend plusieurs composants: une source lumineuse, deux filtres de polarisation linéaire servant de polariseur et d'analyseur, deux filtres quart d'onde et un bâti dans lequel les modèles sont fixés et chargés. La source lumineuse permet d'obtenir au choix des images de contraintes en couleur avec une lumière blanche ou en clair-obscur avec une lumière monochromatique.

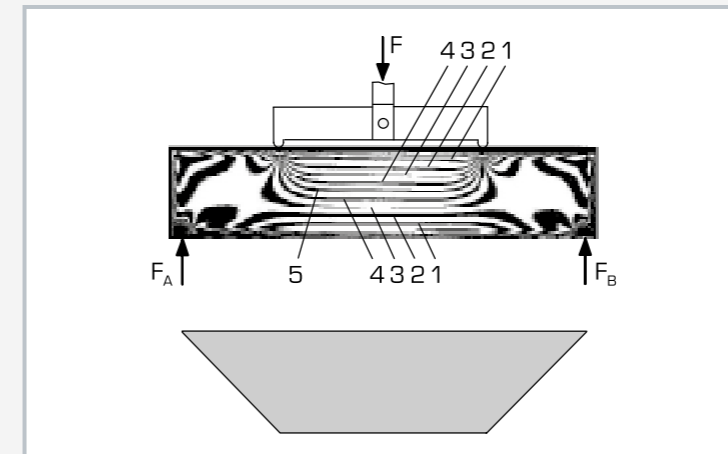
Le polariseur est composé d'un filtre de polarisation et d'une lame quart d'onde, et génère une lumière à polarisation circulaire. Une seconde lame quart d'onde (en position croisée par rapport à la première), située derrière le modèle, est combinée à un second filtre de polarisation.

Ils forment ensemble l'analyseur. Les filtres sont orientables et pourvus d'échelles angulaires. Différents modèles en polycarbonate sont fixés dans le bâti. Un dispositif de charge permet, au moyen d'une broche, d'appliquer une charge de flexion, de traction ou de compression sur le modèle. Les zones claires correspondent aux contraintes qui se forment dans le modèle; elles permettent de visualiser la manière dont les contraintes sont réparties. Pour déterminer la différence des contraintes principales, on évalue l'ordre des franges isochromatiques sombres.

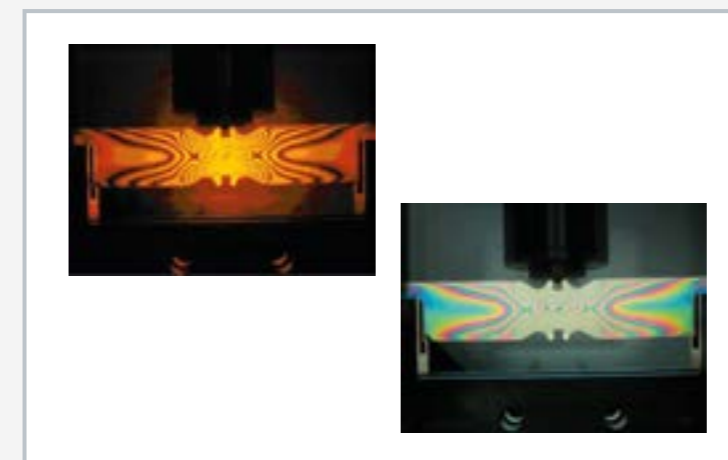
Un grand choix de modèles, comme des barres, avec entailles, des clés de serrage, le modèle d'un palier à roulement ou d'un engrenage, sont disponibles en tant qu'accessoires; ils permettent la réalisation d'un ensemble très complet d'essais. Il est également possible d'étudier d'autres modèles dont dispose le laboratoire.



1 source lumineuse, 2 filtre de polarisation comme polariseur, 3 filtre quart d'onde, 4 bâti pour l'encastrement et le chargement des modèles, 5 filtre de polarisation comme analyseur, 6 filtre quart d'onde, 7 modèle soumis à une charge (FL 200.03)



Haut: répartition des contraintes dans le modèle soumis à une flexion: 1 à 4 structure isochromatique, 5 fibre neutre; F force extérieure, F_A/F_B réactions d'appui; bas: courbe des moments de flexion



Haut: modèle de barre avec entailles (FL 200.05) dans la lumière monochromatique, bas: modèle FL 200.05 dans la lumière blanche

Spécification

- [1] représentation de courbes de contraintes mécaniques dans des essais de photoélasticimétrie
- [2] 2 filtres de polarisation linéaires comme polariseur et analyseur
- [3] 2 filtres quart d'onde pour générer une lumière à polarisation circulaire
- [4] tous les filtres avec échelle d'angle de 360° et détection de l'axe optique principal
- [5] filtre monté sur rouleaux et orientable
- [6] lumière blanche générée à l'aide d'un tube fluorescent et de deux lampes à incandescence
- [7] lumière monochromatique (couleur jaune) générée par une lampe à vapeur de sodium
- [8] traverses du bâti réglables dans la direction verticale
- [9] génération des forces de compression et de traction à l'aide d'une broche filetée
- [10] modèles complets en polycarbonate (PC) livrables en tant qu'accessoires à des fins de démonstration

Caractéristiques techniques

Source lumineuse

- boîtier de la lampe avec verre diffuseur blanc
- pour la lumière blanche
 - ▶ 1 tube fluorescent TL-E 32W/33 (couleur: 33)
 - ▶ 2 lampes à incandescence, lampe flamme dépolie E14, 230V, 25W
- pour lumière monochromatique (couleur jaune)
 - ▶ 1 lampe à vapeur de sodium SOX 35, 35W

Filtres garnis de verre, diamètre: $\varnothing=425\text{mm}$

- 2 filtres de polarisation (vert olive foncé)
- 2 filtres quart d'onde (incoloré)

Bâti: Lxh: 600x750mm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxhx: 800x600x750mm
Poids: env. 50kg

Liste de livraison

- 1 bâti avec dispositif de charge
- 2 filtres de polarisation
- 2 filtres quart d'onde
- 2 supports de filtre
- 1 source lumineuse
- 1 documentation didactique

FL 210

Démonstration photoélastique



L'illustration montre l'appareil FL 210 avec un rétroprojecteur disponible dans le commerce, non compris dans les accessoires fournis.

Contenu didactique/essais

- génération d'état de contrainte plane dans différents modèles soumis à une charge
 - ▶ charge de compression
 - ▶ charge de traction
- étude des répartitions des contraintes avec une lumière à polarisation linéaire et circulaire
- interprétation de tracés de lignes obtenus par photoélasticimétrie
 - ▶ répartition des contraintes
 - ▶ concentration des contraintes

Description

- **appareil de démonstration à installer sur un rétroprojecteur**
- **génération d'images de contraintes avec une lumière à polarisation linéaire ou circulaire dans des composants types en polycarbonate**
- **identification des concentrations de contraintes**

La photoélasticimétrie permet de représenter de manière explicite les courbes et les concentrations de contraintes dans des modèles de composants.

En se servant d'une lumière polarisée, on étudie la répartition des contraintes dans des corps plats et translucides (modèles en plastique). Les courbes de contraintes sont représentées en couleur au moyen de filtres de polarisation. L'effet d'entaille, la charge ponctuelle et des critères de conception technique

des composants apparaissent clairement.

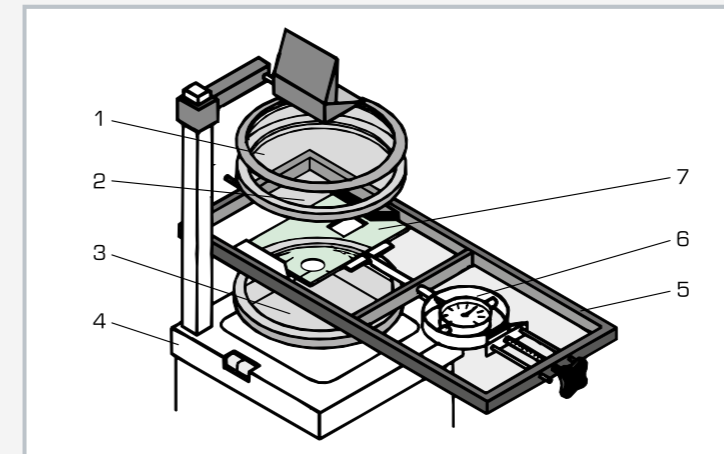
Le FL 210 est un élément à installer sur un rétroprojecteur. Différents modèles en plastique transparent sont fixés dans un bâti. Un dispositif de charge permet d'appliquer des forces de compression ou de traction sur le modèle étudié au moyen d'une broche.

La disposition de filtres de polarisation et de filtres quart d'onde génère au choix une lumière à polarisation linéaire ou circulaire. Une lumière monochromatique peut être générée à l'aide du filtre vert fourni. Un rétroprojecteur (p.ex. le FL 210.01) sert de source lumineuse.

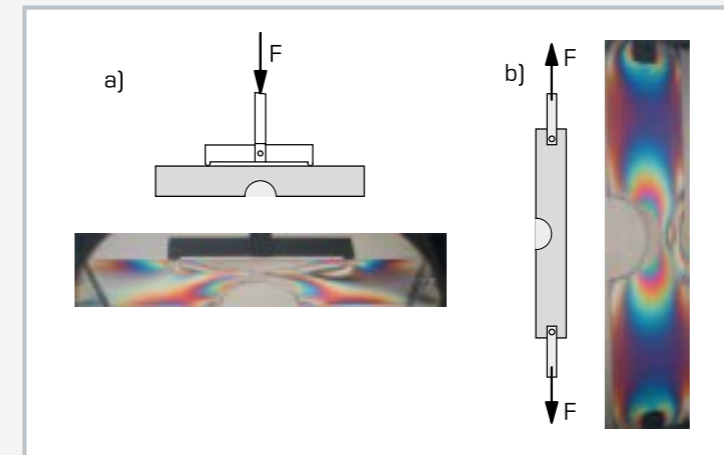
Grâce à l'utilisation d'une lumière monochromatique, on obtient un système composé de bandes claires et obscures permettant de déterminer la répartition

et la taille des contraintes mécaniques. Les modèles fournis correspondent à des composants types, et permettent de réaliser des essais sur l'effet d'entaille et la charge ponctuelle. Les courbes des contraintes détectées sur le modèle permettent de tirer des enseignements pour les composants réels.

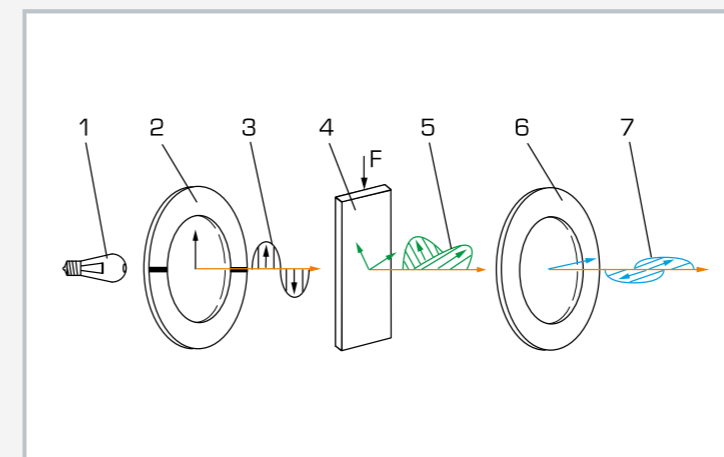
D'autres modèles sont disponibles, qui permettent de représenter les répartitions des contraintes sur des paliers à roulement, des flancs de dent, des assemblages par vis et rondelles et des clés plates. Les pièces de l'essai sont bien ordonnées, et protégées dans un système de rangement.



1 filtre vert, 2 analyseur, 3 polariseur, 4 rétroprojecteur (FL 210.01), 5 bâti, 6 dispositif de charge avec dynamomètre à cadran, 7 modèle en plastique



a) modèle soumis à une charge de flexion, courbe des contraintes, b) modèle soumis à une charge de traction, courbe des contraintes



Représentation schématique de la démonstration photoélastique:
1 source lumineuse, 2 polariseur, 3 lumière polarisée linéairement, 4 modèle soumis à une charge, 5 lumière décomposée en deux éléments dans la direction des contraintes principales, 6 analyseur, 7 composantes horizontales de la lumière

Spécification

- [1] essais de photoélasticimétrie avec un polariscope pour rétroprojecteur
- [2] le polariseur et l'analyseur se composent chacun d'un filtre de polarisation et d'un filtre quart d'onde
- [3] filtres sertis, avec vitrage exempt de contraintes
- [4] tous les filtres peuvent être tournés horizontalement à la position souhaitée
- [5] lumière à polarisation linéaire ou circulaire
- [6] filtre vert pour lumière monochromatique
- [7] dispositif de charge avec dynamomètre à cadran pour charges de compression et de traction
- [8] 8 différents modèles en polycarbonate (PC) fournis
- [9] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Support de filtre avec polariseur et analyseur
 ■ diamètre des filtres: $\varnothing=165\text{mm}$
 1 filtre vert, diamètre: $\varnothing=150\text{mm}$

Dispositif de charge avec dynamomètre à cadran
 ■ effort de charge: 0...250N

- 8 modèles, PC
- barre non entaillée
 - barre perforée
 - barre entaillée d'un seul côté
 - barre entaillée des deux côtés
 - rectangle sans encoches
 - rectangle avec encoches
 - fourche
 - crochet de levage

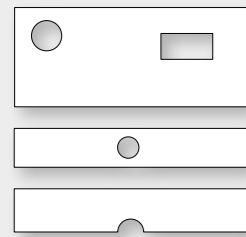
Lxlh: 500x190x30mm (bâti)
 Lxlh: 280x280x90mm (support de filtre)
 Poids: env. 8kg
 Lxlh: 1170x480x178mm (système de rangement)

Liste de livraison

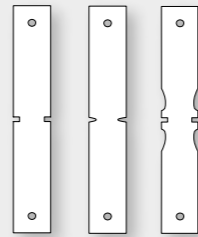
- 1 bâti avec dispositif de charge
- 1 support de filtre avec polariseur et analyseur
- 1 filtre vert
- 8 modèles de photoélasticimétrie
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

FL 200 et FL 210: représentation des courbes des contraintes dans des modèles d'éléments de construction

Modèles pour essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission (FL 200)



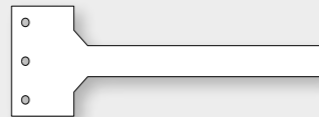
FL 200.01
Jeu comprenant 5 modèles photoélastiques



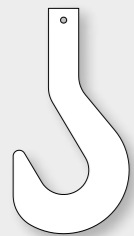
FL 200.05
Jeu comprenant 3 modèles photoélastiques, comparaison des entailles



FL 200.02
Modèle arc, PC



FL 200.06
Modèle contraintes au niveau des soudures, PC

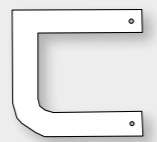
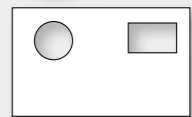
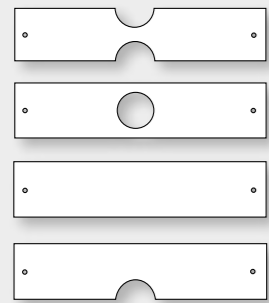


FL 200.03
Modèle crochet de suspension, PC

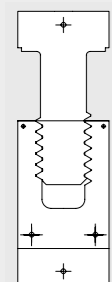


FL 200.07
Modèle clé, PC

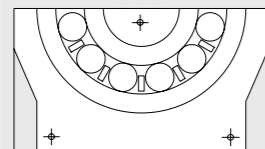
Modèles pour démonstrations photoélastiques à l'aide d'un rétroprojecteur (FL 210)



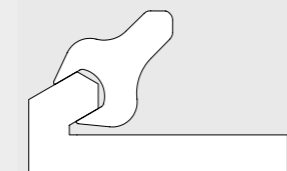
Autres modèles comme accessoires



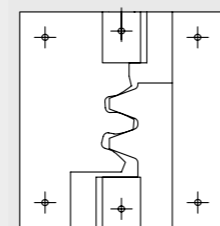
FL 210.10
Modèle assemblage par vis



FL 210.11
Modèle palier à roulement

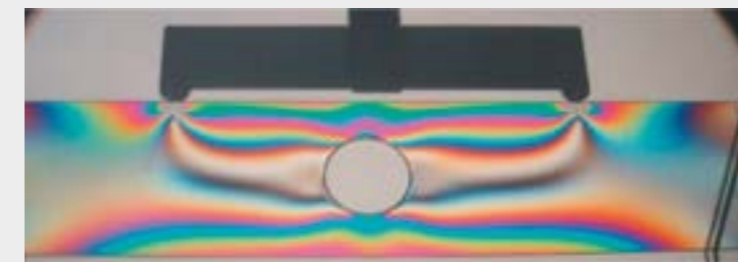
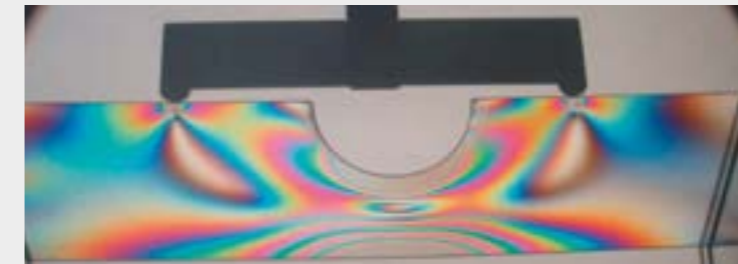


FL 210.12
Modèle clé à fourches

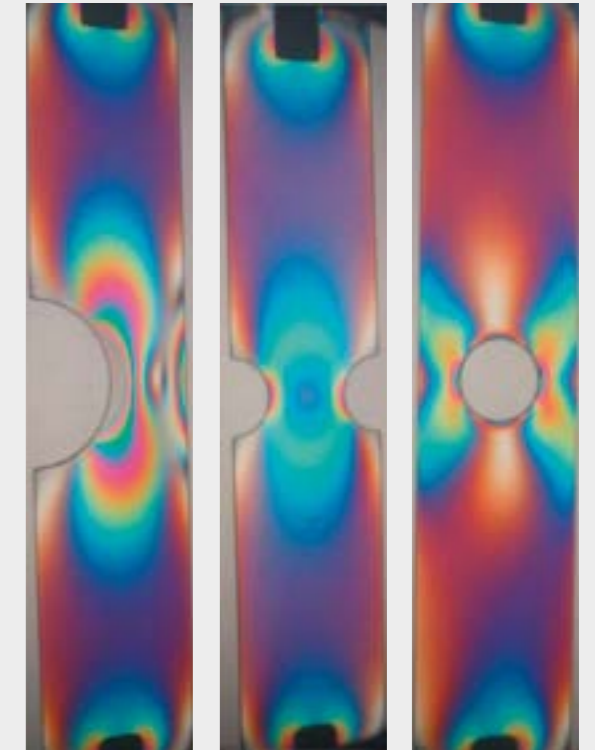


FL 210.13
Modèle pignon denté

Modèles pour démonstrations et essais photoélastiques sous l'effet d'une charge (FL 200 et FL 210)



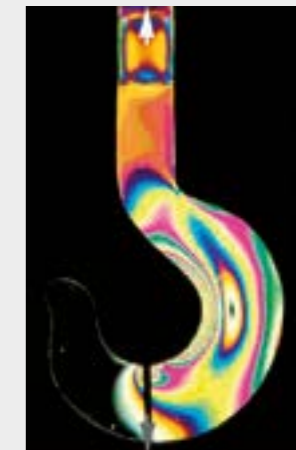
Sollicitation en flexion avec moment constant



Sollicitation en traction avec concentration des contraintes sur l'étranglement de la coupe transversale

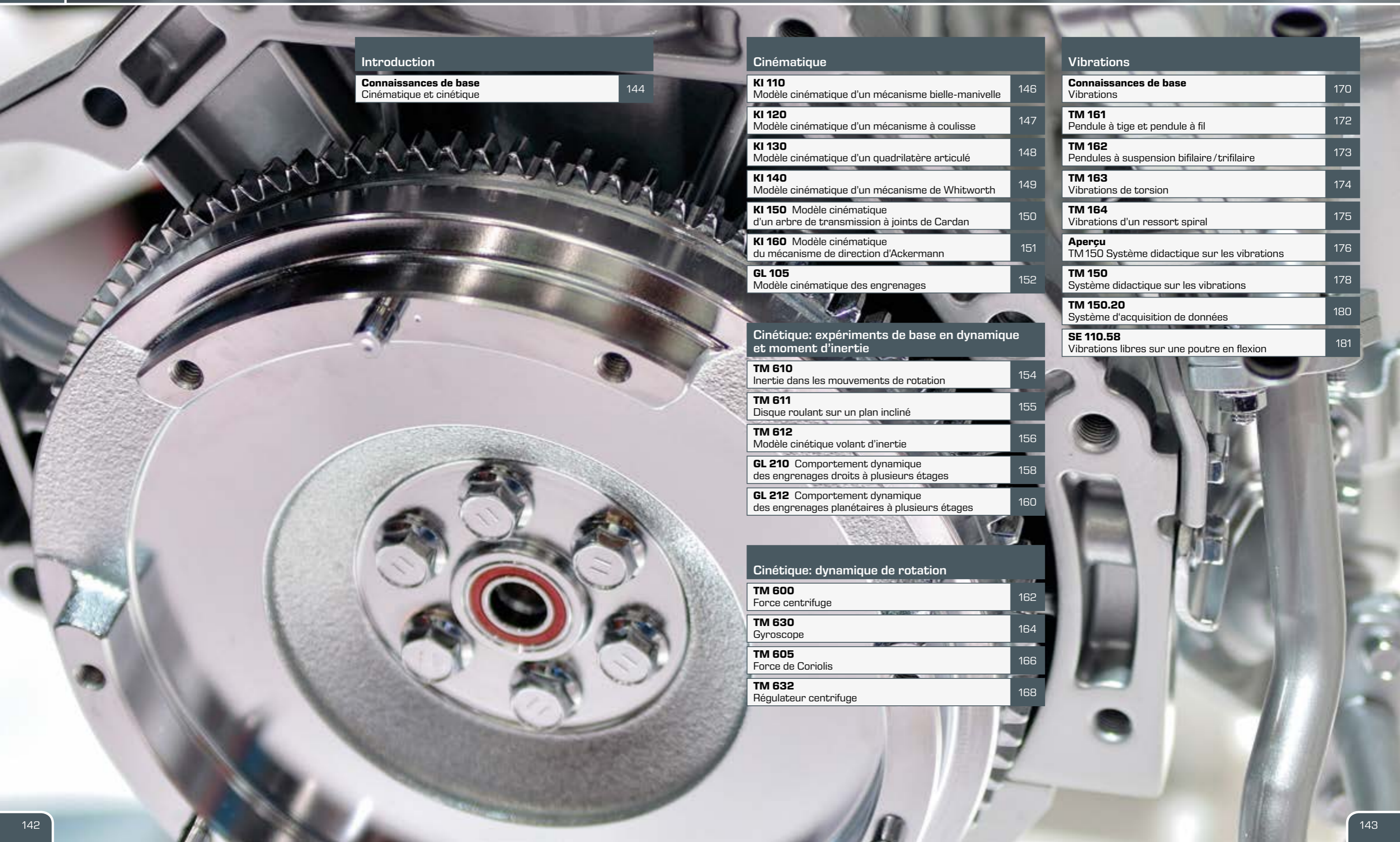


Sollicitation en flexion avec force centrale et étranglement de la coupe transversale



Crochet de grue soumis à une charge

Mécanique appliquée – dynamique



Introduction	
Connaissances de base Cinématique et cinétique	144

Cinématique	
KI 110 Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle	146
KI 120 Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse	147
KI 130 Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé	148
KI 140 Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth	149
KI 150 Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan	150
KI 160 Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann	151
GL 105 Modèle cinématique des engrenages	152

Cinétique: expériences de base en dynamique et moment d'inertie	
TM 610 Inertie dans les mouvements de rotation	154
TM 611 Disque roulant sur un plan incliné	155
TM 612 Modèle cinétique volant d'inertie	156
GL 210 Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages	158
GL 212 Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages	160

Cinétique: dynamique de rotation	
TM 600 Force centrifuge	162
TM 630 Gyroscope	164
TM 605 Force de Coriolis	166
TM 632 Régulateur centrifuge	168

Vibrations	
Connaissances de base Vibrations	170
TM 161 Pendule à tige et pendule à fil	172
TM 162 Pendules à suspension bifilaire/trifilaire	173
TM 163 Vibrations de torsion	174
TM 164 Vibrations d'un ressort spiral	175
Aperçu TM 150 Système didactique sur les vibrations	176
TM 150 Système didactique sur les vibrations	178
TM 150.20 Système d'acquisition de données	180
SE 110.58 Vibrations libres sur une poutre en flexion	181

Connaissances de base

Cinématique et cinétique

Dynamique

Tandis que la statique étudie les corps en équilibre, au repos ou en mouvement à vitesse constante, la dynamique s'intéresse au déplacement accéléré d'un corps sous l'effet de forces. Le rôle du temps est donc important en dynamique. La dynamique considère aussi bien les forces s'exerçant sur un corps, que les mouvements de ce corps qui en résultent. De manière générale, il est nécessaire d'avoir des connaissances en dynamique pour le génie mécanique.



La dynamique est constituée de la cinétique et de la cinématique. En pratique, la distinction entre la cinétique et la cinématique est la manière dont elles considèrent une même machine ou un même composant. Les exercices de cinématique considèrent uniquement la géométrie du mouvement. La cinétique prend également en considération l'origine du mouvement.

L'objectif de la dynamique est de calculer la sollicitation et la charge de composants et systèmes afin de pouvoir les dimensionner.



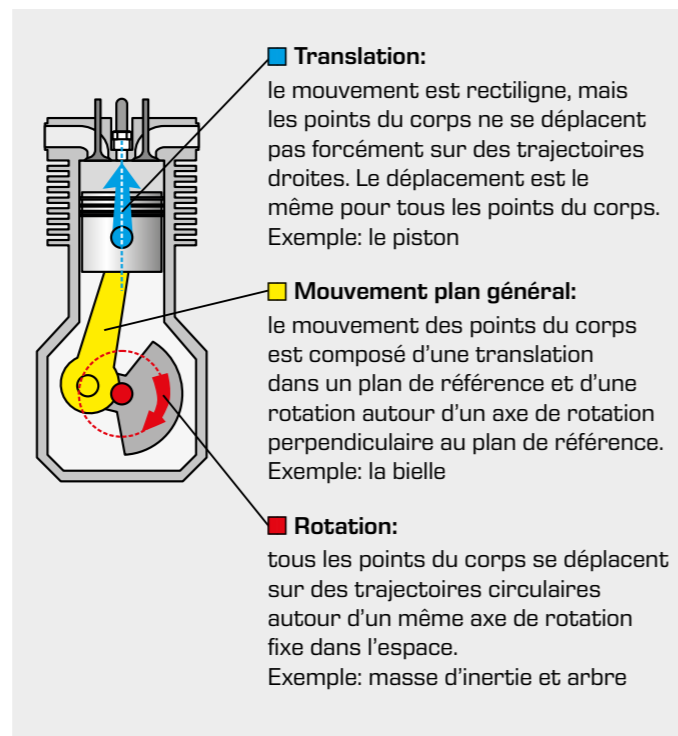
Cinématique

La cinématique décrit et analyse l'effet du mouvement des corps sans que soit considérée leur origine. Elle est centrée sur les aspects géométriques du mouvement. Des coordonnées décrivent la position des corps à chaque instant. La trajectoire, la vitesse et l'accélération sont observées.



Dans la pratique, des connaissances en cinématique sont requises pour la construction et le dimensionnement des mécanismes bielle-manivelle, des cames ou des engrenages. Il est indispensable d'avoir assimilé la cinématique d'un corps rigide pour pouvoir utiliser les équations du mouvement, qui mettent en relation les forces du corps et le mouvement.

Dans le domaine technique, on distingue deux formes de mouvements: la **translation** et la **rotation**. Le mouvement de la plupart des composants est une combinaison de ces deux formes: il s'agit du mouvement plan général. Une machine à piston simple met cela en évidence:



Cinétique

La **cinétique** étudie les mouvements sous l'influence de forces; elle prend donc en compte l'origine du mouvement. Pour décrire l'évolution dans le temps et l'espace d'un système mécanique soumis à des forces externes, on utilise des équations du mouvement. Ces dernières sont en général composées d'un système d'équations différentielles de second ordre.

La cinétique se base sur les **lois du mouvement de Newton**

1^{re} loi: le principe ou la loi d'inertie

Lorsqu'aucune force externe n'agit sur lui, un corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme rectiligne dans lequel il se trouve. Inertie: le corps change d'état de mouvement uniquement lorsque des forces externes agissent sur lui.

2^e loi: le principe d'action

La force appliquée et l'accélération atteinte sont proportionnelles. Le rapport entre la force appliquée et la vitesse atteinte est une grandeur constante pour chaque corps: il s'agit de sa masse.

Principe fondamental de la dynamique:
force = masse · accélération
F = m · a

3^e loi: principe des actions réciproques ou mutuelles

Les forces de réaction entre deux points de masse sont de valeur identique, opposées et colinéaires.

actio = reactio

Loi de Newton:

$$\sum F = m \cdot a$$

Moment d'inertie de masse:

Dans le cas de la translation, on parle de l'inertie d'un corps; dans le cas de la rotation, cette inertie correspond au moment d'inertie – ou moment d'inertie de masse.

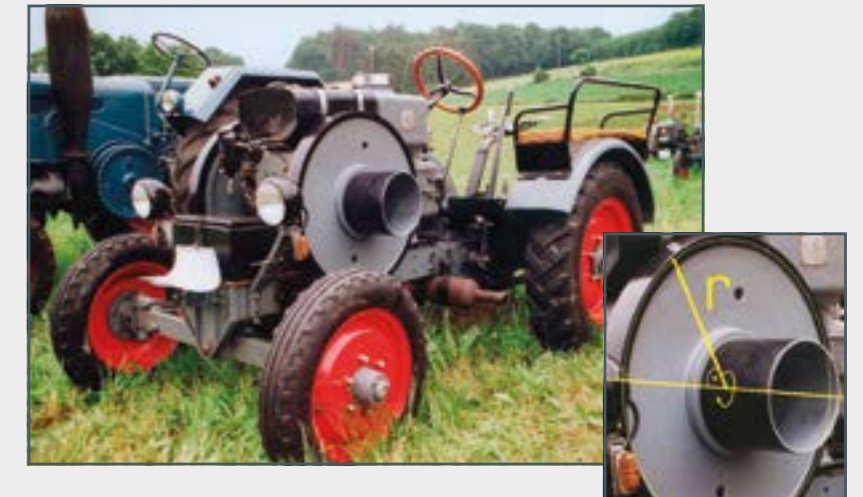
Lorsque l'on modifie le mouvement de rotation d'un corps rigide autour d'un axe donné, le corps exerce une résistance au changement. Cette résistance est indiquée par le moment d'inertie de masse. Le comportement d'un corps dépend de sa masse et de sa distribution par rapport à l'axe de rotation. Pour pouvoir calculer le moment d'inertie de masse, il faut connaître à la fois sa masse et sa distribution.

$$J = \frac{M}{\alpha}$$

$$J = r^2 \Delta m$$

J moment d'inertie de masse, **M** couple, **F** force, **α** accélération angulaire, **r** rayon, **Δm** point de masse en rotation

L'exemple de masse d'inertie d'un tracteur illustre bien ce comportement: par rapport à son axe de rotation, la masse d'inertie a un moment d'inertie de masse qui est élevé. Lorsque la masse d'inertie a été mise en mouvement, une force élevée est nécessaire pour pouvoir l'arrêter. Le moteur fournit ainsi une puissance pratiquement constante à des vitesses de rotation faibles, ce qui l'empêche de caler.



KI 110

Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle



Contenu didactique/essais

- mécanisme bielle-manivelle avec cylindre fixe et pivotant

Spécification

- [1] étude d'un mécanisme bielle-manivelle
- [2] ajustage du rayon de la manivelle sur 3 positions de la manivelle sur la flasque de manivelle
- [3] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [4] mesure de la course sur le cylindre
- [5] le cylindre pivotant, peut être bloqué pour étudier le mécanisme bielle-manivelle avec, au choix, le cylindre fixe ou pivotant

Caractéristiques techniques

- Flasque de manivelle
- aluminium anodisé
 - monté sur roulement à billes

- Rayon de la manivelle
- 25mm
 - 37,5mm
 - 50mm

- Tige de bielle
- aluminium noir anodisé

- Cylindre
- course 0...100mm

- Lxlxh: 360x280x70mm
Poids: env. 2kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description

■ mécanisme bielle-manivelle avec cylindre fixe ou pivotant

Un mécanisme bielle-manivelle est un groupe fonctionnel que l'on trouve dans des machines et qui sert à transformer un mouvement de rotation (rotatif) uniforme en un mouvement de va-et-vient (translationnel) et inversement. Les mécanismes bielle-manivelle sont utilisés entre autres dans les moteurs, les pompes ou les presses.

Avec le KI 110, on peut montrer cette transformation en se servant au choix d'un cylindre fixe ou d'un cylindre oscillant. L'appareil d'essai est composé d'une flasque de manivelle, d'une tige de bielle et d'un cylindre. À l'une des extrémités, la tige de bielle est reliée à la flasque par le biais d'une manivelle. La position de la manivelle sur la flasque permet de déplacer le rayon de la manivelle sur trois positions différentes.

À l'autre extrémité, la tige de bielle est reliée au cylindre. Cette extrémité modélise le piston. Le simple déplacement d'une vis permet de bloquer le cylindre pivotant, et de démontrer un mécanisme bielle-manivelle avec, au choix, un cylindre fixe ou pivotant.

L'angle est réglé par une flasque de manivelle et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. Pour la mesure de la course, une règle en acier avec graduation en millimètres est installée sur le cylindre.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

KI 120

Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse



Contenu didactique/essais

- transformation d'un mouvement rotatif uniforme en mouvement de translation purement harmonique
- influence de la longueur de la manivelle et de l'angle d'entrée sur la course de sortie
- enregistrement de la fonction de transmission d'un mécanisme à coulisse

Spécification

- [1] étude d'un mécanisme à coulisse
- [2] production et étude de mouvements de translation purement harmoniques
- [3] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la bielle sur la flasque de manivelle
- [4] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [5] mesure de la course sur le cylindre

Caractéristiques techniques

- Flasque de manivelle
- aluminium anodisé
 - monté sur roulement à billes

- Rayon de la manivelle
- 25mm
 - 37,5mm
 - 50mm

- Tige de bielle
- aluminium anodisé

- Cylindre
- course 0...100mm

- Lxlxh: 380x280x100mm
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description

■ représentation d'un mouvement de translation purement harmonique

Contrairement au mécanisme bielle-manivelle normal, le mécanisme à coulisse produit un mouvement de translation purement harmonique.

Le KI 120 permet de produire et étudier des mouvements de la course purement harmoniques. L'appareil d'essai est composé d'une flasque de manivelle rotative, d'une tige de bielle et d'un cylindre fixe. À l'une des extrémités, la tige de bielle est reliée à la flasque par le biais d'une manivelle. La position de la manivelle sur la flasque permet de régler le rayon de la manivelle sur trois positions différentes.

À l'autre extrémité, la tige de bielle est reliée au cylindre fixe. Cette extrémité modélise le piston.

L'angle est réglé par une flasque de manivelle, et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. Pour la mesure de la course, une règle en acier avec graduation en millimètres est installée sur le cylindre.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

KI 130

Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé



Contenu didactique/essais

- étude des rapports mécaniques sur un quadrilatère articulé
- étude du principe du mécanisme à 4 barres, de la bielle double et de la double manivelle
- vérification de la condition de Grashof par la variation du rayon de la manivelle, du rayon du bras oscillant et de la longueur de la bielle

Spécification

- [1] étude d'un quadrilatère articulé
- [2] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la manivelle sur le disque d'entraînement
- [3] ajustage du rayon du bras oscillant sur 3 positions
- [4] ajustage de la longueur de la bielle sur 5 positions
- [5] ajustage de l'angle d'entrée en tournant le disque d'entraînement
- [6] mesure de l'angle de sortie sur l'échelle d'angle du disque entraîné

Caractéristiques techniques

Disque d'entraînement et disque entraîné

- aluminium anodisé
- montés sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 25mm, 37,5mm, 50mm

Bras oscillant

- aluminium noir anodisé
- rayon du bras oscillant: 50mm, 100mm, 200mm

Bielle

- aluminium noir anodisé
- longueur: 60mm, 160mm, 180mm, 200mm, 220mm

Lxlxh: 380x280x100mm
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description

■ transformation d'un mouvement rotatif en mouvement oscillant

Le quadrilatère articulé est une transmission à articulation tournante à quatre articulations. Il transforme des mouvements rotatifs en mouvements oscillants.

Le KI 130 permet d'étudier le principe du mécanisme à quatre barres, de la bielle double et de la double manivelle.

L'appareil d'essai est composé d'un disque d'entraînement avec la manivelle et la bielle, et d'un disque entraîné avec le bras oscillant. Les éléments sont reliés entre eux par des articulations tournantes. Les positions des articulations tournantes peuvent être modifiées pour ajuster le rayon de la manivelle, le rayon du bras oscillant et la longueur de la bielle. La manivelle permet de tourner le disque d'entraînement.

L'angle d'entrée est ajusté par le biais du disque d'entraînement, et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. L'angle de sortie est lu sur l'échelle d'angle du disque entraîné.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

KI 140

Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth



Contenu didactique/essais

- étude d'un mécanisme à coulisse rotatif
- influence de la longueur de la manivelle et de l'angle d'entrée sur la course de sortie
- enregistrement de la fonction de transmission d'un mécanisme à coulisse rotatif

Spécification

- [1] étude d'un mécanisme à coulisse rotatif
- [2] production et étude de mouvements de translation irréguliers
- [3] ajustage du rayon de la manivelle par 3 positions de la bielle sur la flasque de manivelle
- [4] ajustage de l'angle en tournant la flasque de manivelle
- [5] mesure de la course sur le cylindre

Caractéristiques techniques

Disque d'entraînement

- aluminium anodisé
- monté sur roulement à billes

Rayon de la manivelle

- 46mm

Rayon du bras oscillant

- 55mm

Tige de poussée

- aluminium anodisé
- longueur: 145mm

Cylindre/palet de poussée/châssis

- course 0...100mm

Lxlxh: 360x280x70mm
Poids: env. 2kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description

■ représentation d'un mouvement de translation irrégulier

Le mécanisme de Whitworth est aussi connu sous le nom de "mécanisme à retour rapide". Il représente un mécanisme à coulisse rotatif et produit des mouvements de translation irréguliers, avec un mouvement avant lent et un mouvement retour rapide. Ce mécanisme est utilisé dans les machines-outils, les machines d'emballage et de transport.

Le KI 140 produit des mouvements de translation irréguliers par le biais d'un mécanisme de Whitworth. L'appareil d'essai est composé d'un disque d'entraînement avec manivelle et bielle, ainsi que d'une tige de poussée et d'un cylindre.

L'angle est réglé par une flasque de manivelle et lu sur une échelle d'angle intégrée à une plaque de base. Pour la mesure de la course, une règle en acier avec graduation en millimètres est installée sur le cylindre.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport et permettent d'empiler les appareils.

KI 150**Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan****Contenu didactique/essais**

- représentation de la transmission irrégulière d'un joint de Cardan
- détermination de l'erreur de cardan
- influence de la disposition des joints de Cardan et de l'angle de flexion sur l'erreur de cardan

Spécification

- [1] étude d'un arbre de transmission à joints de Cardan
- [2] ajustage de la disposition des joints de Cardan et de l'angle de flexion par l'intermédiaire de deux disques rotatifs
- [3] ajustage de l'angle de rotation d'entrée du joint de Cardan d'entraînement
- [4] mesure de l'angle de rotation de sortie
- [5] détermination de la différence entre les deux angles

Caractéristiques techniques

- Joint de Cardan
- nombre: 2
 - pièces normalisées selon DIN 808
 - acier inoxydable

- Arbre
- nombre: 3
 - diamètre: 16mm
 - acier inoxydable
 - roulement à billes

Lxlxh: 360x280x200mm
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description**■ étude d'un arbre de transmission à joints de Cardan**

Les joints de Cardan sont des articulations tournantes qui transmettent un couple et un mouvement rotatif. Un joint de Cardan relie entre eux deux arbres non alignés. Sur un joint de Cardan, le couple et la vitesse de rotation sont transmis de manière irrégulière. Cette transmission irrégulière est appelée erreur de cardan. Pour l'éviter, on utilise deux joints de Cardan reliés entre eux par un arbre dit intermédiaire. Cette association est appelée arbre de Cardan ou arbre de transmission à joints de Cardan.

Le KI 150 permet d'étudier un arbre de transmission à joints de Cardan. L'appareil d'essai est composé de deux joints de Cardan et d'un arbre intermédiaire.

La disposition des joints de Cardan et l'angle de flexion peuvent être ajustés au moyen de deux disques rotatifs se trouvant sur la plaque de base.

Côté entraînement, on ajuste et on lit l'angle de rotation d'entrée du joint de Cardan d'entraînement. L'arbre intermédiaire transmet le couple au joint de Cardan entraîné. Puis on lit l'angle de rotation de sortie. L'erreur de cardan est déterminée à partir de la différence entre ces deux angles.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport de l'appareil.

KI 160**Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann****Contenu didactique/essais**

- vérification de la théorie d'Ackermann
- calcul de la position des roues
- détermination de la divergence en virage et de l'erreur de direction

Spécification

- [1] étude du trapèze de direction
- [2] étude de la géométrie de direction selon Ackermann
- [3] ajustage des longueurs de la barre d'accouplement
- [4] lecture des angles de braquage sur les graduations
- [5] ajustage de la position zéro des angles de braquage via le dispositif de blocage du mécanisme
- [6] ajustage de l'angle de braquage de la roue intérieure au virage
- [7] mesure de l'angle de braquage de la roue extérieure au virage

Caractéristiques techniques

- Barres d'accouplement
- ajustage individuel

Distance entre les pivots de l'essieu avant
■ 465mm

Plage de mesure des angles de braquage
■ $\pm 50^\circ$
■ graduation: 1°

Lxlxh: 620x280x60mm
Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

Description**■ étude de la géométrie de direction selon Ackermann**

Pour la direction, toutes les roues d'un véhicule doivent se trouver exactement sur la même trajectoire circulaire. Pour y parvenir, il faut que les prolongements de tous les essieux se croisent au centre du virage (théorie sur la direction ou théorie d'Ackermann). Pour que cela soit possible, il faut que la roue intérieure au virage braque plus que la roue extérieure. Ce qui est rendu pratiquement possible en utilisant ce que l'on appelle un trapèze de direction, qui est composé d'un axe, d'une barre d'accouplement et de deux leviers d'accouplement sur les roues.

Le KI 160 permet d'étudier un trapèze de direction. L'appareil d'essai est composé de deux barres d'accouplement avec une barre de direction intermédiaire, de deux leviers d'accouplement et de deux pivots d'essieu avant, sur lesquels on fixe théoriquement les roues.

La longueur de l'axe correspond à la distance entre les pivots de l'essieu avant. Les longueurs des deux barres d'accouplement peuvent être ajustées indépendamment l'une de l'autre. Pour ajuster la position zéro de l'angle de braquage, on fixe le mécanisme au milieu de la barre de direction intermédiaire à l'aide d'un dispositif de blocage. L'angle de braquage de la roue intérieure au virage est ajusté, tandis que celui de la roue extérieure au virage change en fonction de la géométrie; on lit ce dernier sur la graduation. La différence entre les deux angles est ce que l'on appelle la divergence en virage, ou angle d'Ackermann. La différence entre l'angle de braquage calculé et l'angle de braquage mesuré constitue l'erreur de direction. Il est possible de démontrer les inconvénients présentés par une barre d'accouplement mal ajustée.

Les éléments sont fixés sur une plaque de base qui est également adaptée au montage mural.

GL 105

Modèle cinématique des engrenages



Description

- étude d'engrenages droits à un et plusieurs étages
- étude d'engrenages planétaires

Dans une machine, la transmission est l'élément qui transmet et transforme les mouvements. La transmission est au minimum composée d'un entraînement, d'un ensemble entraîné et d'un châssis. Les engrenages font partie des transmissions homogènes.

La transmission du mouvement de rotation d'un arbre sur un autre s'effectue de manière mécanique par l'intermédiaire de roues dentées. Sur un engrenage droit, les roues dentées sont montées sur des axes parallèles. L'arbre d'entraînement et l'arbre de sortie sont ainsi disposés de manière parallèle.

L'engrenage planétaire est un type d'engrenage droit sur lequel l'arbre d'entraînement et l'arbre de sortie sont sur le même axe. L'appareil d'essai GL 105 permet d'étudier des engrenages de type droit et planétaire. La cinématique est au centre des observations.

L'appareil d'essai est constitué d'une plaque de base avec un axe fixe sur lequel un rail pivotant est monté. Deux axes supplémentaires peuvent être fixés sur ce rail aux positions souhaitées.

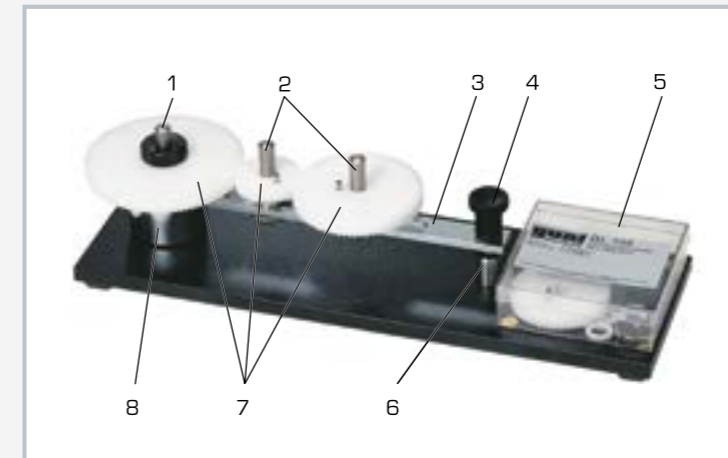
La sélection et l'association des roues dentées ayant un nombre variable de dents permettent la réalisation de différents rapports de transmission et types d'engrenages.

Dans les essais avec des engrenages droits, le rail est bloqué. Selon l'objectif de l'essai, on peut positionner un ou deux axes supplémentaires sur le rail. Les roues dentées peuvent être couplées entre elles ou avec l'axe fixe au moyen de broches d'entraînement. L'entraînement s'effectue à la main.

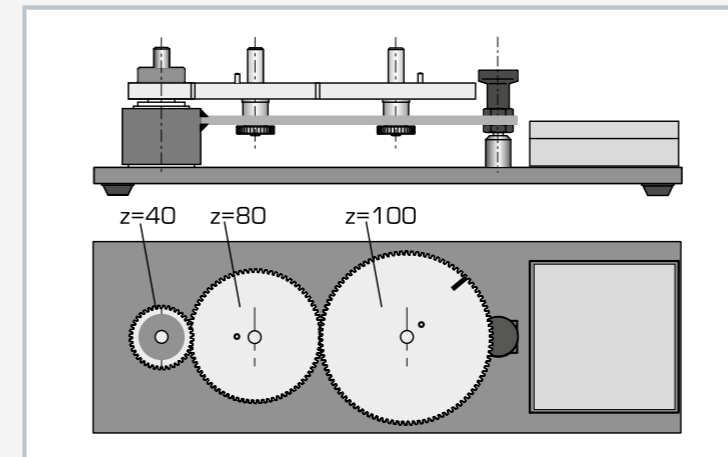
Pour déterminer le rapport de transmission, on compte le nombre de tours complets. Pour l'étude des engrenages planétaires, le rail est débloqué de manière à pouvoir pivoter autour de l'axe fixe. Le rail sert de support aux roues planétaires sur lequel elles sont positionnées, et constitue l'entrée de l'engrenage. La roue solaire forme la sortie de l'engrenage. L'entraînement s'effectue à la main. Le rapport de transmission peut à nouveau être déterminé en comptant le nombre de tours complets.

Contenu didactique/essais

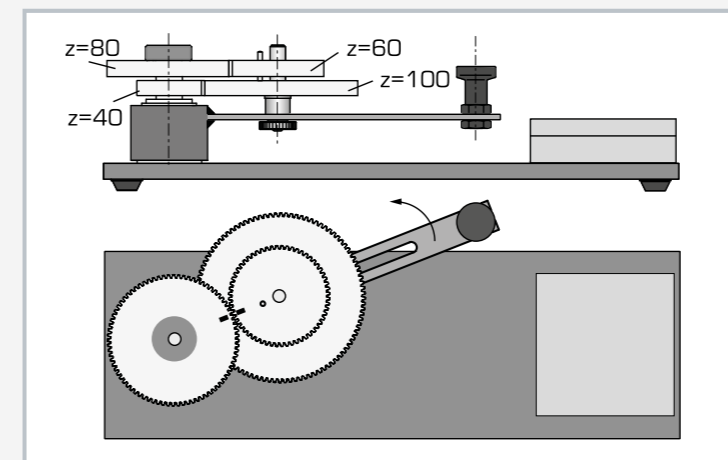
- étude d'engrenages droits à un ou plusieurs étages
- étude d'engrenages planétaires
- détermination du rapport de transmission



1 axe fixe, 2 axes supplémentaires aux positions souhaitées, 3 rail, 4 poignée, 5 boîte de rangement, 6 blocage du rail, 7 roues dentées, 8 palier



Montage expérimental avec rail bloqué et deux autres axes
Engrenage avec roue intermédiaire: roue d'entraînement ($z=40$), roue intermédiaire ($z=80$), roue entraînée ($z=100$)



Montage expérimental avec roue libre et un axe supplémentaire
Engrenage planétaire: roue d'entraînement ($z=40$) fixe accouplée avec un axe fixe, entraînée par un rail, rail comme engrenage planétaire, roues planétaires ($z=100$, $z=60$), roue solaire comme roue entraînée ($z=80$)

Spécification

- [1] étude d'engrenages droits à un ou plusieurs étages
- [2] étude d'engrenages planétaires
- [3] entraînement effectué à la main
- [4] détermination du rapport de transmission en comptant le nombre de tours des roues dentées entraînées
- [5] plaque de base avec boîte de rangement pour les composants

Caractéristiques techniques

Roues dentées

- nombre: 4
- plastique
- module: 1mm
- nombre de dents: 40, 60, 80 et 100

Lxhx: 380x120x100mm

Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 modèle cinématique
- 1 documentation didactique

TM 610

Inertie dans les mouvements de rotation



Description

■ étude des moments d'inertie de masse de corps rigides en rotation

La résistance exercée par un corps rigide contre la modification de son mouvement de rotation est indiquée par le moment d'inertie de masse. Le comportement d'un corps dépend de sa masse et de sa distribution par rapport à l'axe de rotation. En calculant le quotient du couple et de l'accélération angulaire, on obtient le moment d'inertie de masse.

Le TM 610 permet d'étudier les moments d'inertie de masse de corps en rotation (cylindre creux ou cylindre plein). L'appareil d'essai est fixé à une table au moyen de tiges de support.

Une tige de support soutient l'axe de rotation avec le corps à étudier. L'axe de rotation est accéléré au moyen d'un poids, d'une poulie de renvoi et d'un câble avec tambour. Il se forme un mouvement de rotation à accélération uniforme. En se servant du temps mesuré, de la masse et de la trajectoire d'accélération parcourue, on peut calculer le moment d'inertie de masse. Il est possible d'étudier des systèmes ayant des masses différentes et des distributions de masse de géométries différentes. À l'aide d'une tige tournante avec des masses, on peut étudier le moment d'inertie de masse en fonction du rayon.

Contenu didactique/essais

- étude de l'inertie de corps rigides en rotation
- détermination des moments d'inertie de masse de différents corps de forme régulière
- étude du moment d'inertie de masse en fonction du rayon

Spécification

- [1] étude de l'inertie de différents corps en rotation
- [2] cylindre creux, cylindre plein ou tige tournante avec des masses comme corps en rotation
- [3] génération d'un mouvement de rotation à accélération uniforme au moyen d'un poids, d'une poulie de renvoi et d'un câble avec tambour
- [4] tige tournante: position ajustable des masses pour la réalisation de différents rayons
- [5] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération
- [6] positionnement et fixation des pièces de montage par des pinces de table

Caractéristiques techniques

Tige tournante
 ■ longueur: 550mm
 ■ masses: 2x 0,1kg, 2x 0,2kg, 2x 0,4kg

Cylindre plein
 ■ diamètre: 120mm
 ■ masse: 0,9kg

Cylindre creux
 ■ diamètre extérieur: 120mm
 ■ diamètre intérieur: 110mm
 ■ masse: 0,9kg

Poids pour l'entraînement
 ■ 1N

Lxlxh: 730x180x480mm (monté)
 Poids: env. 13kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

TM 611

Disque roulant sur un plan incliné



Description

■ inertie pour des mouvements de rotation sur un plan incliné et pour un pendule physique

Le moment d'inertie de masse est une constante de proportionnalité qui dépend non seulement du corps concerné mais aussi de la position de l'axe de rotation dans ce corps. En mesurant le couple et l'accélération angulaire qui en résulte, on peut déterminer le moment d'inertie de masse de manière expérimentale. Le TM 611 propose à cet effet des essais de roulement sur un plan incliné et des essais pendulaires avec un pendule physique permettant de déterminer des moments d'inertie de masse de manière expérimentale.

Lors de l'essai de roulement, l'inclinaison du plan incliné est ajustée par un réglage en hauteur, et lue sur un inclinomètre.

Un disque roule sur le parcours, le temps et la trajectoire d'accélération sont mesurés et le moment d'inertie de masse est calculé.

Pour la réalisation des essais pendulaires, le disque est accroché à une fixation. L'axe de rotation du disque est déplacé d'une certaine distance par rapport à son centre de gravité. Le disque est légèrement dévié et se balance d'un côté et de l'autre. Le moment d'inertie de masse se calcule à partir du temps mesuré pendant tout le mouvement pendulaire, de la masse et de la distance par rapport au centre de gravité (théorème de Steiner).

Deux disques différents sont à votre disposition. Les essais sont orientés de manière exacte avec des niveaux à bulle.

Contenu didactique/essais

- démonstration de la loi de la chute des corps sur un plan incliné
- influence de la masse d'un corps sur son accélération
- détermination des moments d'inertie de masse par l'essai de roulement et l'essai pendulaire
- théorème de Steiner

Spécification

- [1] étude de l'inertie sur des mouvements de rotation
- [2] démonstration de la loi de la chute des corps
- [3] détermination expérimentale des moments d'inertie de masse
- [4] essais de roulement sur un plan incliné avec modification de la hauteur et support en trois points
- [5] essais pendulaires avec un pendule physique
- [6] inclinomètre et niveaux à bulles assurent une orientation exacte
- [7] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération

Caractéristiques techniques

Parcours de roulement
 ■ longueur: max.1000mm
 ■ angle d'inclinaison: 0°...7°

Disques
 ■ masse: 320g et 620g
 ■ diamètre: 70mm et 100mm

Axe de rotation
 ■ diamètre: 10mm
 ■ distance du centre de gravité: 10mm

Lxlxh: 1180x480x210mm
 Poids: env. 10kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 612

Modèle cinétique volant d'inertie



Description

■ étude des mouvements de rotation à accélération uniforme

La résistance exercée par un corps rigide contre la modification de son mouvement de rotation est indiquée par le moment d'inertie de masse. Elle mesure l'inertie d'un corps en rotation.

Le TM 612 permet de réaliser des essais fondamentaux sur le mouvement de rotation à accélération uniforme. L'appareil d'essai est composé d'un volant d'inertie avec arbre, d'un câble et d'un jeu de poids. L'arbre forme l'axe de rotation au centre de gravité du volant d'inertie. Il est logé sur deux paliers.

L'une des extrémités du câble est fixée à l'arbre, et l'autre extrémité accueille le poids. Le poids suspendu produit un mouvement à accélération uniforme du volant d'inertie.

Le temps de roulement complet est mesuré et comparé aux temps des autres poids. Le moment d'inertie de masse du volant d'inertie est déterminé à partir du temps mesuré, de la masse du volant d'inertie et de la trajectoire d'accélération parcourue.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

Contenu didactique/essais

- détermination expérimentale du moment d'inertie de masse
- principe fondamental de la dynamique du mouvement de rotation

Spécification

- [1] étude de l'inertie d'un volant d'inertie
- [2] génération d'un mouvement de rotation à accélération uniforme du volant d'inertie
- [3] entraînement par des poids
- [4] influence du poids sur le temps de roulement
- [5] mesure du temps et de la trajectoire d'accélération
- [6] détermination du moment d'inertie de masse
- [7] fixation pour montage mural

Caractéristiques techniques

Volant d'inertie

- diamètre: 300mm
- épaisseur: 40mm
- masse: 22,2kg

Arbre

- diamètre: 22mm

Poids pour l'entraînement

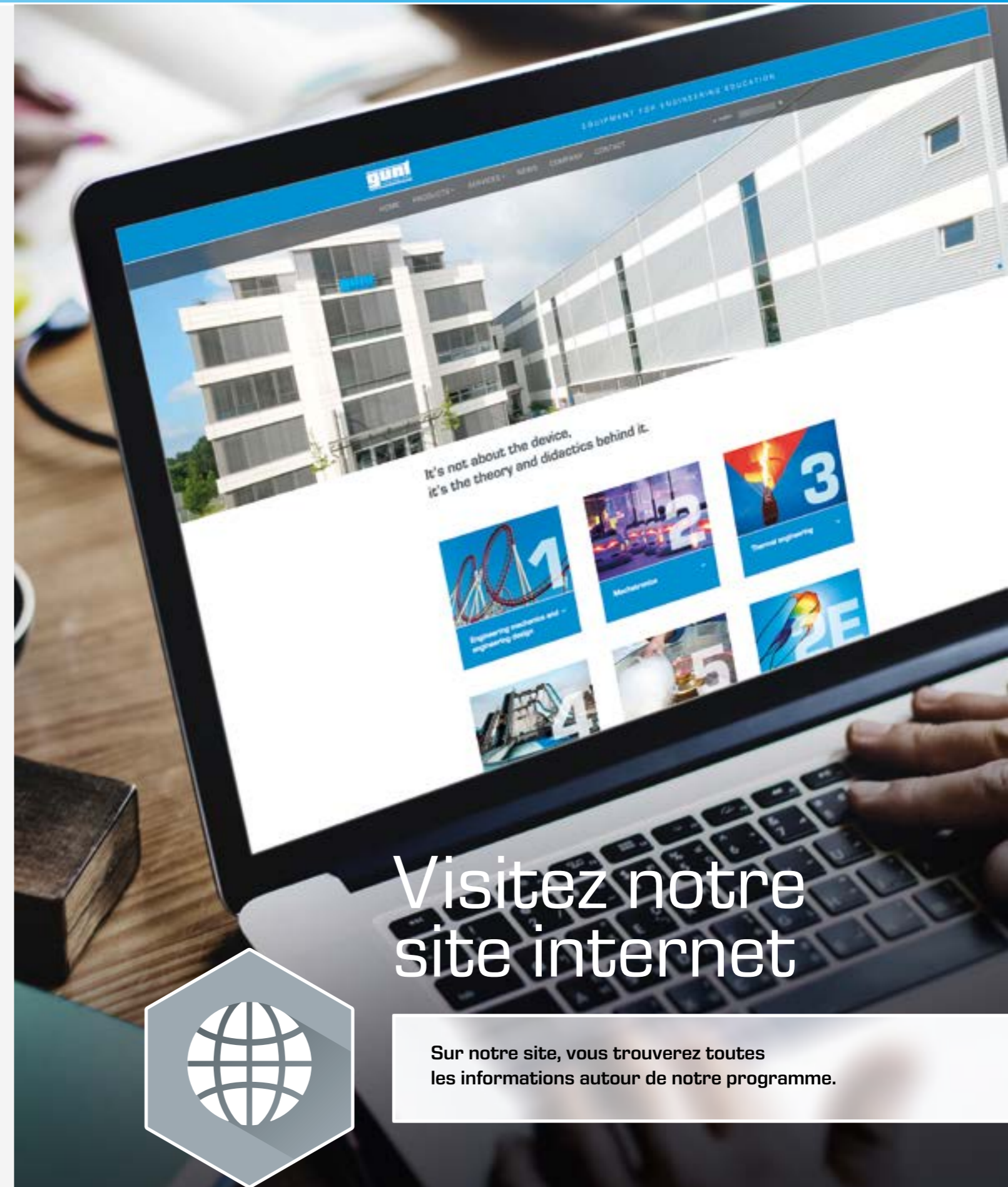
- 1x 1N (suspente)
- 4x 1N
- 3x 5N

LxHx: 250x350x1500mm

Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique



Visitez notre site internet

Sur notre site, vous trouverez toutes les informations autour de notre programme.

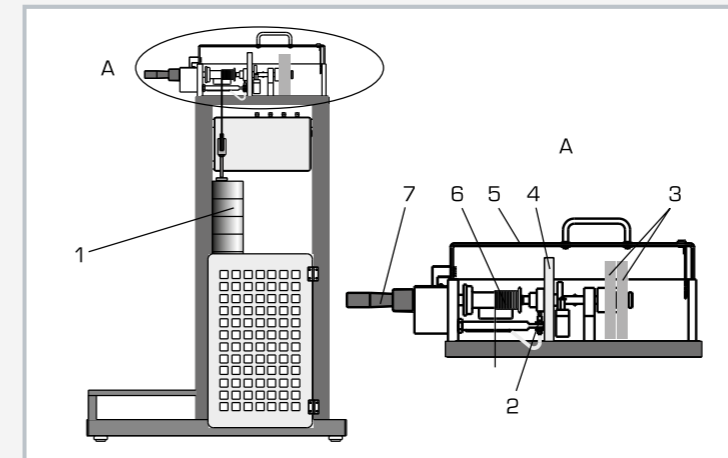
GL 210

Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages

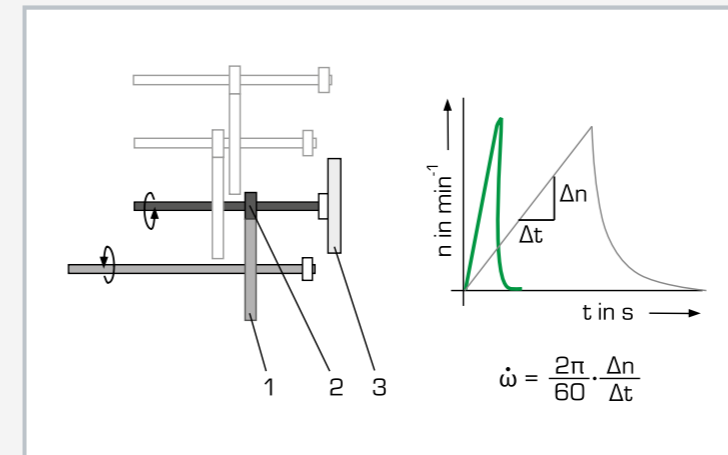


Contenu didactique/essais

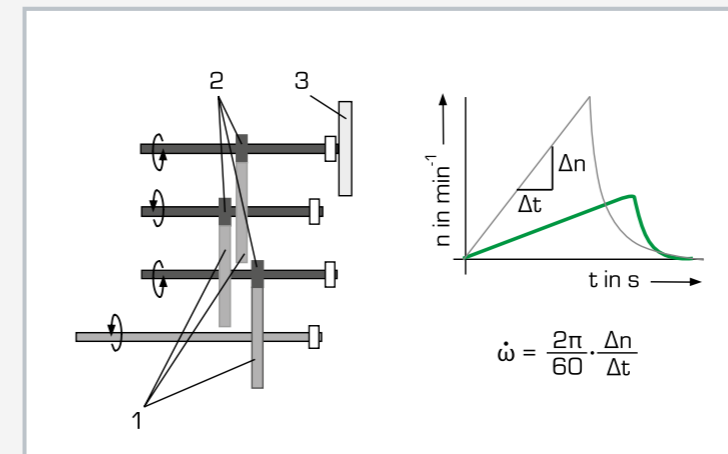
- détermination de l'accélération angulaire sur des engrenages
- détermination du moment d'inertie de la masse de l'engrenage
- détermination du frottement
- détermination du degré d'efficacité des engrenages



1 jeu de poids, 2 capteur de vitesse de rotation, 3 masses mobiles, 4 pignon d'entraînement, 5 capot de protection, 6 tambour à câble, 7 manivelle manuelle



Détermination de l'accélération angulaire: 1 pignon d'entraînement, 2 pignon de marche arrière, 3 masse mobile; diagramme temps-vitesse de rotation: détermination de l'accélération angulaire à partir de la pente de la courbe, courbe verte pour engrenage à 1 étage



Détermination de l'accélération angulaire: 1 pignons d'entraînement, 2 pignons de marche arrière, 3 masse mobile; diagramme temps-vitesse de rotation: détermination de l'accélération angulaire à partir de la pente de la courbe

Spécification

- [1] étude du comportement dynamique d'engrenages droits à 1, 2 ou 3 étages
- [2] 4 arbres, 3 pignons d'entraînement et 3 pignons de marche arrière
- [3] possibilité d'accoupler les arbres au moyen de tiges d'accouplement
- [4] possibilité d'ajout de masses mobiles sur chaque arbre pour augmenter l'inertie de rotation
- [5] engrenage accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids
- [6] remontée du jeu de poids à l'aide d'une manivelle manuelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire
- [7] une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé
- [8] freinage de l'engrenage par un frein à main
- [9] capot de protection transparent avec verrouillage de sécurité et grille de protection pour le jeu de poids
- [10] capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les pignons de marche arrière
- [11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

- Engrenage à 3 étages avec 4 arbres
- rapport de transmission par étage: $i=4:1$
 - rapport de transmission total: $i=64:1$

Largeur des pignons: 16mm, module 2mm

Entraînement

- jeu de poids: 5...50kg
- hauteur de chute: max. 0,65m
- énergie potentielle max.: 320Nm

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...2000min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 970x760x1550mm
Poids: env. 155kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de poids
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Description

- engrenage droit à un, deux ou trois étages avec inerties de rotation réparties
- entraînement par tambour à câble et jeu variable de poids
- capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les arbres

Des engrenages sont utilisés pour établir le lien entre la machine d'entraînement et la machine de travail. Ils servent à faire varier le couple de rotation et la vitesse de rotation ainsi qu'à inverser le sens de rotation. L'objectif de l'analyse de la dynamique des engrenages est de comprendre les schémas de mouvement et l'influence de l'inertie.

Le GL 210 permet d'étudier le comportement dynamique avec des engrenages droits à un, deux ou trois étages en fonctionnement non stationnaire.

Le banc d'essai comprend quatre arbres parallèles, trois pignons d'entraînement et trois pignons de marche arrière. Les arbres sont accouplés par des tiges d'accouplement de manière à obtenir différents étages d'engrenages. Pour augmenter l'inertie de rotation, une masse mobile peut être placée sur chaque arbre. L'engrenage est accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids. Le jeu de poids est remonté à l'aide d'une manivelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire du poids.

Une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé. Un frein à main permet un freinage en douceur. Le capot de protection transparent avec verrouillage de sécurité évite tout contact involontaire avec les pièces en rotation.

Des capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les pignons de marche arrière permettent de mesurer la vitesse de rotation. Les valeurs mesurées sont transférées directement via une interface USB sur un PC, où elles sont présentées sous forme graphique à l'aide du logiciel fourni. Les diagrammes permettent de relever l'accélération angulaire.

GL 212

Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages



L'illustration montre un appareil similaire.

Contenu didactique/essais

- détermination du rapport de transmission avec engrenage bloqué
- détermination des forces transmises avec engrenage bloqué
- accélération de l'engrenage avec couple d'entraînement constant
- influence du rapport de transmission
- détermination du moment d'inertie de la masse réduit
- transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique
- détermination du frottement
- détermination du degré d'efficacité des engrenages

Description

- engrenage planétaire à deux étages avec respectivement trois satellites
- quatre réglages de transmission différents
- mesure de la force au moyen d'un capteur de flexion
- capteurs de vitesse de rotation inductifs pour les diagrammes vitesse de rotation-temps servant à mesurer l'accélération angulaire

L'engrenage planétaire est une forme spéciale d'engrenage sur lequel plusieurs satellites tournent autour d'une roue solaire centrale. Les satellites reposent sur un porte-satellites et s'engagent géométriquement dans une couronne de train planétaire à denture intérieure. Le couple et la puissance sont répartis sur plusieurs satellites.

La roue solaire, le porte-satellites et la

couronne de train planétaire peuvent être respectivement flottant, entraîné ou calé. Les engrenages planétaires sont utilisés dans les secteurs de la construction automobile et navale, ainsi qu'à des fins stationnaires pour la construction de turbines et de machines en général.

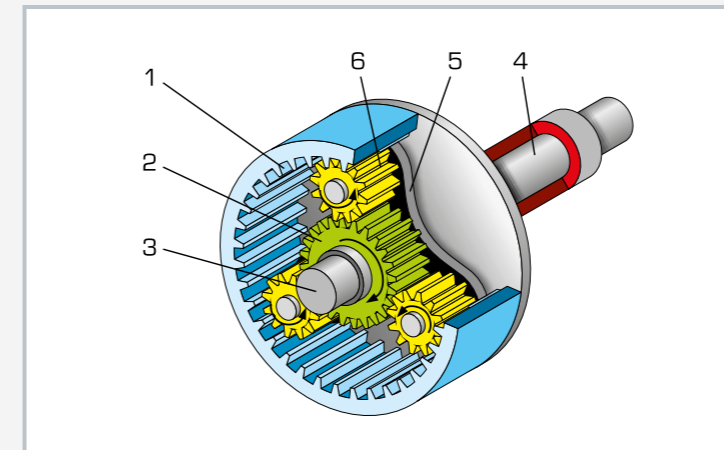
Le GL 210 permet d'étudier le comportement dynamique d'un engrenage planétaire à deux étages. Le banc d'essai est équipé de deux jeux de satellites comprenant chacun trois satellites. La couronne de train planétaire du 1^{er} étage est accouplée au porte-satellites du 2^{ème} étage. La fixation individuelle de roues permet d'obtenir au total quatre réglages de transmission différents. L'engrenage est accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids. Le jeu de poids est remonté à l'aide d'une manivelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire du poids.

Une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé. Le poids est amorti au moyen d'un amortisseur. Un capot de protection transparent évite tout contact involontaire avec les pièces en rotation.

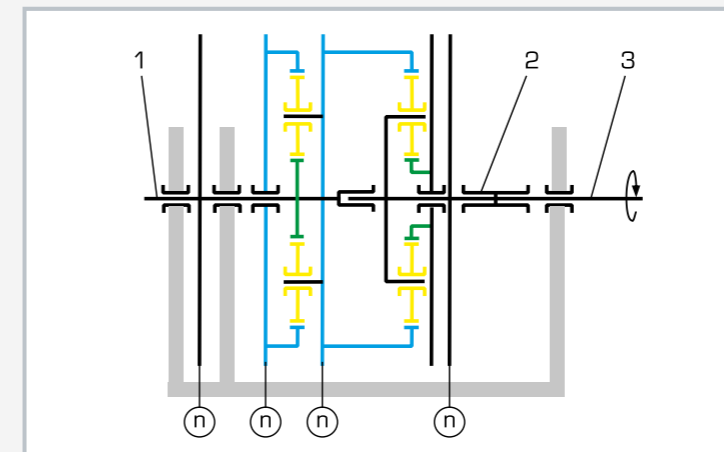
Afin de pouvoir déterminer les couples actifs, on mesure la flèche située sur le capteur de flexion pour mesurer la force. Des capteurs de vitesse de rotation inductifs sur tous les pignons de marche arrière permettent de mesurer la vitesse de rotation. Les valeurs mesurées sont transférées directement via une interface USB sur un PC, où elles sont présentées sous forme graphique à l'aide du logiciel fourni. Les diagrammes permettent de relever l'accélération angulaire. Les moments d'inertie actifs sont déterminés à partir de l'accélération angulaire.



1 horloge de mesure, 2 capteur de flexion, 3 jeu de poids, 4 jeu de poids pour la mesure des rapports de transmission, 5 engrenage planétaire, 6 manivelle manuelle, 7 capot de protection



Structure de l'engrenage planétaire: 1 couronne de train planétaire, 2 roue solaire, 3 arbre de la roue solaire, 4 arbre du porte-satellites, 5 porte-satellites, 6 satellite



Principe de fonctionnement d'un engrenage planétaire à deux étages: 1 arbre de sortie, 2 tambour à câble, 3 arbre de transmission; vert: roues solaires, jaune: satellites, bleu: couronnes de train planétaire; n vitesse de rotation

Spécification

- [1] étude du comportement dynamique d'un engrenage planétaire à 2 étages
- [2] 3 satellites par étage
- [3] 4 transmissions différentes possibles
- [4] engrenage accéléré par un tambour à câble et un jeu variable de poids
- [5] remontée du jeu de poids à l'aide d'une manivelle manuelle, un cliquet d'arrêt empêche tout déroulement involontaire
- [6] une roue libre de galet de serrage permet de poursuivre la rotation libre après que le poids a été déroulé
- [7] amortisseur pour poids
- [8] capot de protection transparent
- [9] mesure de la force à différents étages de l'engrenage via 3 capteurs de flexion, affichage par des horloges de mesure
- [10] capteurs de vitesse de rotation inductifs
- [11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Engrenage planétaire à 2 étages

- module: 2mm
- roues solaires: z=24, d-cercle primitif: 48mm
- satellites: z=24, d-cercle primitif: 48mm
- couronnes de train planétaire: z=72, d-cercle primitif: 144mm

Entraînement

- jeu de poids: 5...50kg
- énergie potentielle max.: 245,3Nm

Charge à l'arrêt:

- forces des poids: 5...70N

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...2000min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxIxh: 950x600x1700mm

Poids: env. 150kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 2 jeux de poids
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

TM 600

Force centrifuge



Description

■ lois générales sur le comportement de masses en rotation

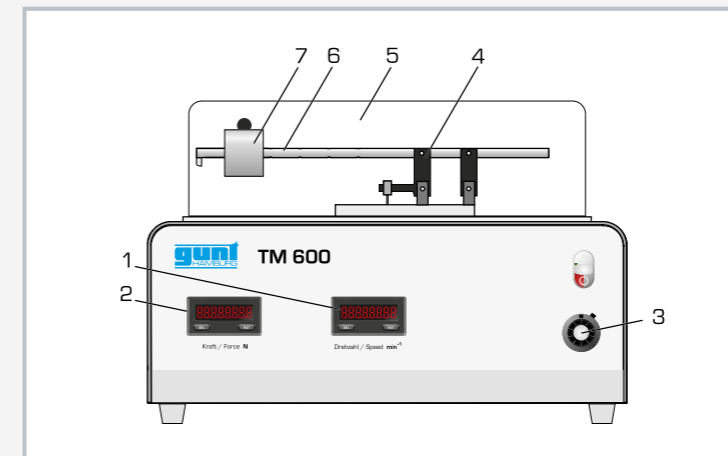
La force centrifuge se forme lors du mouvement d'un corps rigide sur une trajectoire circulaire, et correspond à la force d'inertie s'exerçant vers l'extérieur, dans la direction opposée au centre de rotation. La force contraire à la force d'inertie est la force centripète. Les deux forces ont la même valeur, et leur direction respective est exactement opposée. Les forces centrifuges se forment sur toutes les machines rotatives telles que les turbines, et doivent être contrôlées pour éviter tout endommagement des éléments des machines.

Le TM 600 permet d'étudier les forces centrifuges dans différentes conditions. L'élément central de l'appareil d'essai est un bras rotatif placé sur un axe rotatif vertical. Différentes masses sont ancrées sur le bras. On peut ajuster le rayon de l'orbite en changeant la position de la masse sur le bras. On dispose de trois masses différentes.

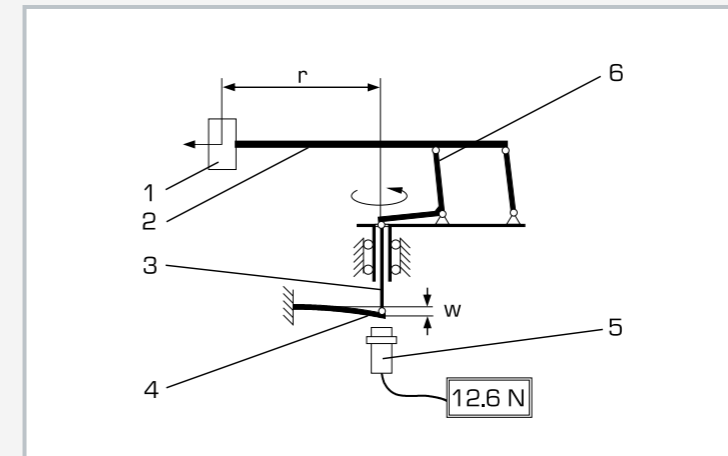
La force centrifuge qui se forme est transmise du bras à une poutre en flexion. La déformation proportionnelle à la force est enregistrée et affichée numériquement au moyen d'un système de mesure électronique. La vitesse de rotation du moteur d'entraînement réglé est aussi affichée numériquement, et peut être ajustée en continu. Un capot protecteur transparent garantit la sécurité: le fonctionnement n'est possible que lorsque celui-ci est correctement positionné.

Contenu didactique/essais

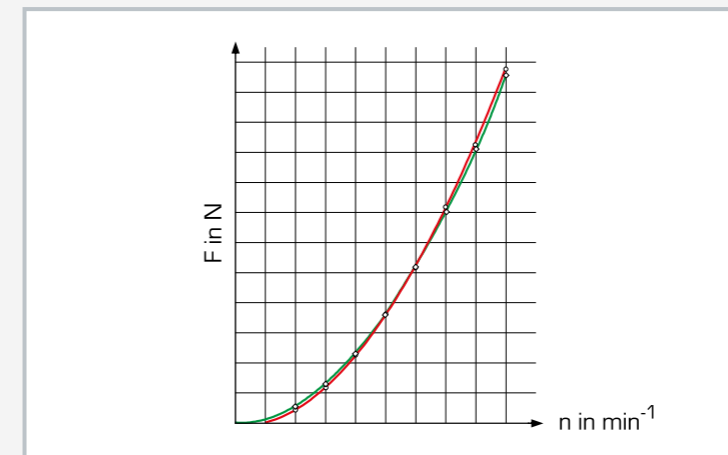
- étude de la force centrifuge en fonction
 - ▶ de la vitesse de rotation
 - ▶ de la taille de la masse en rotation
 - ▶ du rayon de rotation



1 affichage de la force centrifuge, 2 affichage de la vitesse de rotation, 3 ajustage de la vitesse de rotation 4 élément de direction (mesure de la force), 5 capot de protection, 6 bras rotatif, 7 masse



Principe de mesure de la force avec déformation proportionnelle à la force: 1 masse, 2 bras rotatif, 3 barre de compression, 4 poutre en flexion, 5 capteur de déplacement, 6 élément de direction; r rayon, w déformation



Force centrifuge dépendant de la vitesse de rotation en vert: valeurs calculées, en rouge: valeurs mesurées; F force centrifuge, n vitesse de rotation

Spécification

- [1] mesure de la force centrifuge sur des masses en rotation
- [2] ajustage des rayons de trajectoire
- [3] sélection de différentes masses
- [4] ajustage en continu de la vitesse de rotation
- [5] entraînement du moteur à courant continu
- [6] transmission de la force centrifuge par un élément de direction et une barre de compression à une poutre en flexion
- [7] déformation proportionnelle à la force de la poutre en flexion
- [8] mesure de la force centrifuge par un capteur de déplacement inductif sur la poutre en flexion
- [9] affichage numérique de la force et de la vitesse de rotation
- [10] le capot de protection avec accouplement électronique positionné sur l'entraînement assure un fonctionnement sécurisé

Caractéristiques techniques

Trajectoire circulaire

- rayons de trajectoire: 25mm, 50mm, 75mm, 100mm, 125mm
- vitesse max.: 6,5m/s

Masses: 50g, 75g, 100g

Moteur d'entraînement

- puissance max.: 35W
- vitesse de rotation max.: 6000min⁻¹

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...500min⁻¹
- force: 0...25N, résolution: 0,1N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxHxP: 420x400x270mm

Poids: env. 23kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 630 Gyroscope



Description

■ propriétés d'une toupie entraînée ■ effet de la précession

Le gyroscope est utilisé dans l'aéronautique et l'aérospatial pour le contrôle de position ou en tant qu'instrument de navigation pour ce que l'on appelle la navigation par inertie. Le gyroscope mécanique est constitué principalement d'une masse en rotation rapide. Un gyroscope libre s'efforce de maintenir la position de son axe de rotation dans l'espace, indépendamment de la force de gravité. Cette propriété est utilisée par exemple pour l'horizon virtuel dans un avion. Lorsque la toupie repose dans un châssis, on parle de toupie entraînée. L'élément central d'un gyroscope est une toupie entraînée. Lorsqu'une force perpendiculaire à son axe de rotation est appliquée sur une toupie entraînée, alors la toupie exerce un moment gyroscopique. La rotation perpendiculaire à l'axe de rotation est appelée précession. Un gyroscope a donc trois axes perpendiculaires entre eux: l'axe de rotation de la toupie, l'axe de précession et l'axe d'action de la toupie, qui exerce le moment gyroscopique.

Le TM 630 permet de se familiariser avec le mode de fonctionnement d'un gyroscope. Les moments générés par la précession de la toupie peuvent être déterminés dans le cadre d'essais.

La toupie est constituée d'une masse d'inertie entraînée par un moteur électrique à une vitesse de rotation élevée. La toupie repose dans un châssis à cardan. Il est possible de faire tourner le châssis autour de l'axe vertical en utilisant un second moteur électrique. Ce qui permet de générer la précession de la toupie. Par la précession, la toupie exerce un moment, le moment gyroscopique, autour de l'axe horizontal. Le moment gyroscopique a pour effet de dévier légèrement le châssis interne.

En utilisant un levier et un poids mobile, on peut déterminer le moment gyroscopique. Les vitesses de rotation des deux moteurs électriques pour la rotation et la précession sont ajustables et sont affichées numériquement.

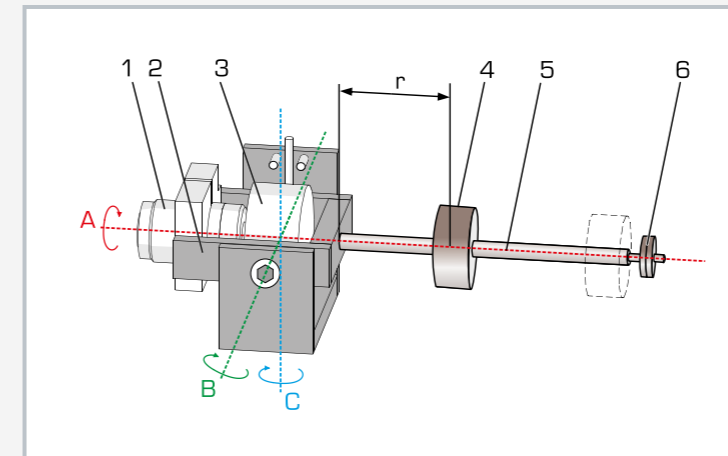
Un capot protecteur transparent garantit la sécurité: le fonctionnement n'est possible que lorsque celui-ci est correctement positionné.

Contenu didactique/essais

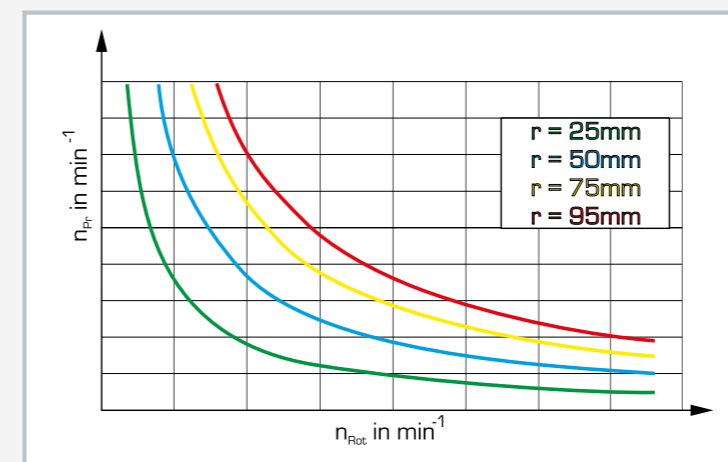
- vérification expérimentale des lois du gyroscope
- découverte des trois axes du gyroscope
- calcul des moments gyroscopiques
- étude de l'effet de la précession



1 capot de protection, 2 moteur d'entraînement de la toupie, 3 affichage et ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de rotation horizontal de la toupie et de l'axe vertical de précession, 4 masse d'inertie de la toupie, 5 levier, 6 poids mobile, 7 châssis intérieur



1 moteur d'entraînement, 2 châssis intérieur, 3 masse d'inertie de la toupie, 4 poids mobile, 5 levier, 6 poids fins; r distance du poids, A axe horizontal de la toupie = axe de rotation, B axe de rotation du châssis intérieur = axe d'action de la toupie, C axe vertical = axe de précession



Courbe de la vitesse de précession pour différents moments gyroscopiques n_p , vitesse de rotation de l'axe de précession, n_{rouge} vitesse de rotation de l'axe de rotation, r distance du poids mobile (donne le moment gyroscopique)

Spécification

- [1] découverte du gyroscope
- [2] étude d'une toupie entraînée
- [3] ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de rotation
- [4] ajustage de la vitesse de rotation de l'axe de précession
- [5] détermination du moment gyroscopique
- [6] affichage numérique des vitesses de rotation de l'axe de rotation et de l'axe de précession
- [7] un capot de protection avec déblocage de l'entraînement assure un fonctionnement sécurisé

Caractéristiques techniques

Toupie

- puissance du moteur d'entraînement: 3,6W
- moment d'inertie de la toupie: 375gcm²
- vitesse de rotation de l'axe de rotation: 1000...6000min⁻¹
- moment gyroscopique: 0...61Nmm

Précession

- puissance du moteur d'entraînement: 19W
- vitesse de rotation de l'axe de précession: 5...63min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 420x400x310mm
Poids: env. 22kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

TM 605

Force de Coriolis



Description

- visualisation de l'influence de la force de Coriolis
- système de référence en rotation
- jet d'eau comme masse mobile

Lorsque, dans un système de référence en rotation, une masse se déplace par rapport au système de référence, son mouvement est dévié. Cette déviation est due à la force de Coriolis qui est une force apparente ou force d'inertie. La force de Coriolis joue un rôle décisif dans les domaines de la météorologie et de l'océanographie physique, étant donné qu'elle exerce, du fait de la rotation de la terre, une influence sur les écoulements d'air et d'eau.

Dans le domaine technique, la force de Coriolis apparaît lorsqu'un mouvement de rotation se superpose à un autre mouvement d'un seul et même objet. Ce qui peut être le cas par exemple sur des grues, des entraînements ou des robots.

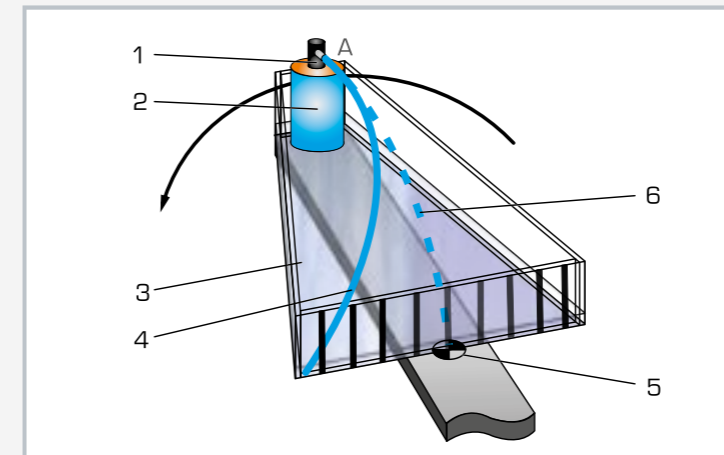
L'appareil d'essai TM 605 permet de visualiser l'influence de la force de Coriolis dans un système de référence en rotation. Un réservoir transparent avec pompe submersible est mis en mouvement de rotation sur un bras rotatif. La pompe produit un jet d'eau de direction radiale à l'intérieur de ce système de référence en rotation. Le jet d'eau est dévié de manière visible sous l'effet de la force de Coriolis; cette déviation dépend du débit de refoulement de la pompe ou de la vitesse de l'eau ainsi que de la vitesse de rotation et du sens de rotation. Le degré de la déviation peut être déterminé avec une échelle graduée sur le réservoir d'eau. La vitesse de rotation est ajustable en continu, elle est réglée électroniquement et affichée de manière numérique.

Contenu didactique/essais

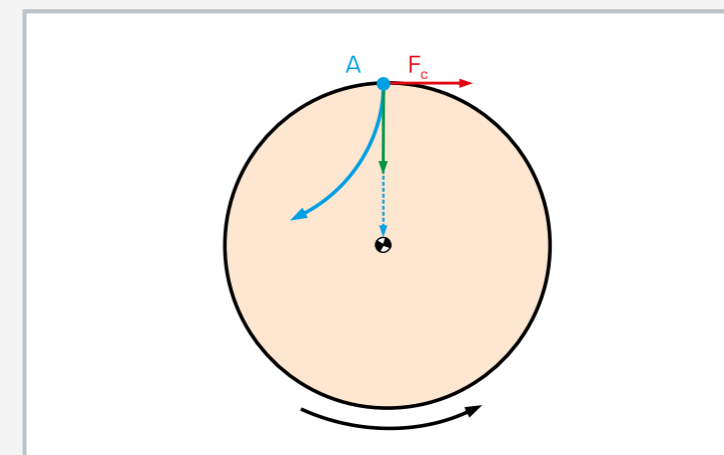
- force d'inertie ou force apparente
- superposition d'un mouvement de rotation sur un mouvement translationnel
- visualisation de l'influence de la force de Coriolis



1 pompe, 2 réservoir d'eau, 3 affichage de la vitesse de rotation, 4 commutateur de modification du sens de rotation, 5 ajustage de la vitesse de rotation, 6 bras rotatif, 7 jet d'eau



1 buse pour jet d'eau, 2 pompe, 3 réservoir, 4 jet d'eau dévié, 5 pivot du bras, 6 jet d'eau avec bras à l'arrêt, 7 sens de rotation; A point de départ de la masse déplacée



Influence de la force de Coriolis: A point de départ de la masse déplacée, F_c force de Coriolis; en orange: système de référence en rotation, en rouge: direction de la force de Coriolis, en vert: mouvement instantané de la masse, en pointillés bleus: direction du mouvement sans mouvement de rotation, en bleu: direction de mouvement effective avec une rotation

Spécification

- [1] visualisation de l'influence de la force de Coriolis
- [2] système de référence en rotation composé d'un réservoir transparent avec pompe submersible sur un bras rotatif
- [3] déviation du mouvement radial d'un jet d'eau en fonction de la vitesse de rotation et du sens de rotation
- [4] échelle graduée pour le relevé de la déviation du jet d'eau
- [5] circuit d'eau fermé
- [6] capteur de vitesse de rotation avec affichage numérique

Caractéristiques techniques

Bras rotatif

- vitesse de rotation ajustable en continu: 0...60min⁻¹
- sens de rotation ajustable

Pompe submersible

- débit de refoulement: 10L/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxIxh: 420x400x320mm
Poids: env. 25kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

TM 632

Régulateur centrifuge



Description

- visualisation de l'effet de la force centrifuge
- fonctionnement de différents systèmes centrifuges
- détermination des courbes caractéristiques et des courbes d'ajustage de différents régulateurs centrifuges

Les régulateurs centrifuges utilisent les propriétés de la force centrifuge pour réguler la vitesse de rotation d'une machine. Une masse d'inertie en rotation tend avec la force centrifuge à s'éloigner de l'axe de rotation et en est empêchée par des mécanismes d'action contraire. Selon les types de mécanisme, on distingue les régulateurs à poids et les régulateurs à ressort. Une déviation proportionnelle à la vitesse de rotation se produit sur le régulateur en raison de la cinématique. Cette déviation influence via un actionneur l'apport d'énergie à la machine afin de régler la vitesse de rotation de la machine.

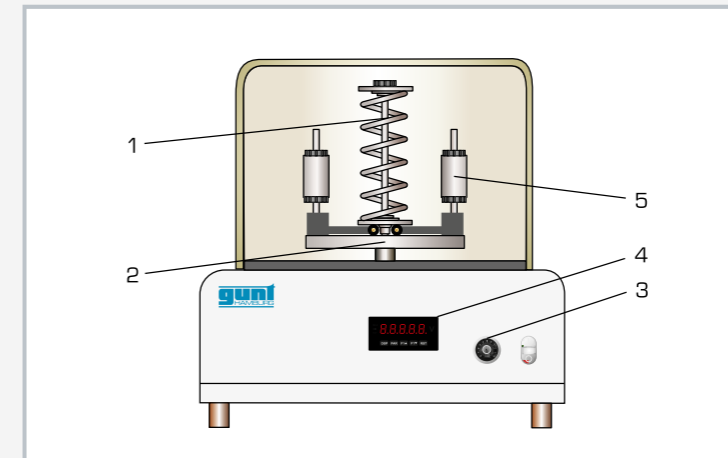
L'appareil d'essai TM 632 sert à présenter des systèmes centrifuges qui mettent en évidence les différents modes de fonctionnement des régulateurs à poids et à ressort.

Le boîtier contient un entraînement à moteur à régulation électronique. La vitesse de rotation est réglée en continu et affichée numériquement. Les régulateurs sont placés dans un mandrin sur l'entraînement. Les accessoires fournis permettent de faire varier les masses soumises à la force centrifuge, les forces de manchon et la précontrainte du ressort selon le régulateur. On peut mesurer la course sur des marques se trouvant sur l'arbre de réglage.

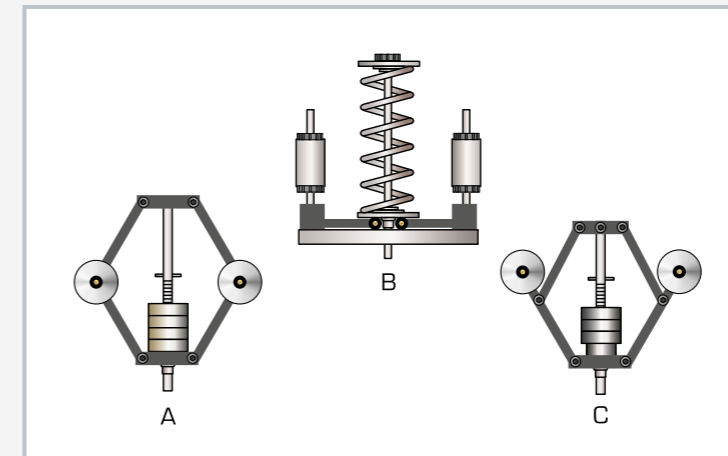
Un capot transparent au-dessus du régulateur centrifuge tournant assure la sécurité: l'utilisation de l'appareil n'est possible que si le capot est correctement en place.

Contenu didactique/essais

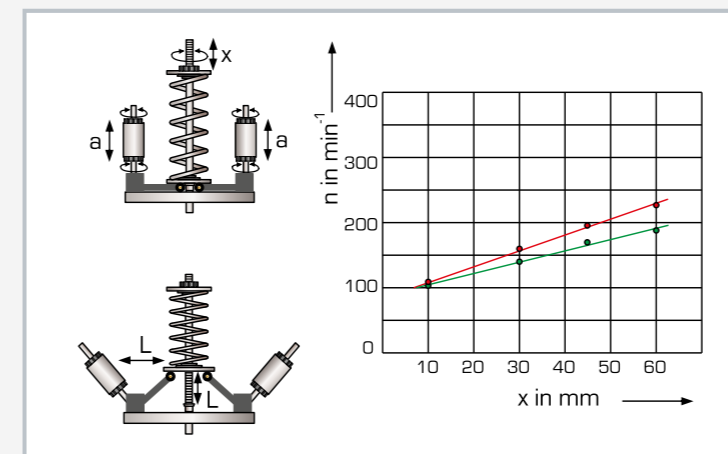
- cinétique et cinématique des systèmes centrifuges suivants
 - ▶ régulateur Porter
 - ▶ régulateur Proell
 - ▶ régulateur Hartnell
- ajustage des régulateurs centrifuges
- enregistrement des courbes caractéristiques du régulateur et courbes d'ajustage
- calcul de la disposition et ajustage de différents régulateurs centrifuges



1 ressort, 2 système centrifuge du régulateur Hartnell, 3 élément de commande pour l'ajustage de la vitesse de rotation, 4 élément d'affichage de la vitesse de rotation, 5 masse soumise à la force centrifuge



Différents systèmes centrifuges: A régulateur Porter, B régulateur Hartnell, C régulateur Proell



Paramètres et courbe caractéristique du régulateur Hartnell à bras de levier de force centrifuge constant: a ajustage de la masse soumise à la force centrifuge, l bras de levier de force centrifuge, n vitesse de rotation, x précontrainte du ressort; vert: vitesse de rotation croissante, rouge: vitesse de rotation décroissante

Spécification

- [1] mode de fonctionnement des systèmes centrifuges
- [2] 3 régulateurs centrifuges différents: régulateurs Porter, Proell et Hartnell
- [3] nombreuses variations possibles sur les régulateurs: ajustage de la masse soumise à la force centrifuge, de la force de manchon et de la précontrainte du ressort
- [4] ajustage en continu de la vitesse de rotation au moyen d'un potentiomètre
- [5] entraînement par moteur à courant continu
- [6] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [7] un capot avec accouplement électronique sur l'entraînement garantit un fonctionnement sécurisé

Caractéristiques techniques

Moteur à courant continu
■ puissance max. 35W

Régulation de vitesse de rotation: 60...400min⁻¹

Régulateur Proell

- masse des manchons: 3x100g
- masse soumise à la force centrifuge: 2x 150g

Régulateur Porter

- masse des manchons: 3x100g
- masse soumise à la force centrifuge: 2x400g

Régulateur Hartnell

- masse soumise à la force centrifuge: 2x400g
- 2 ressorts de pression, précontrainte ajustable

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...600min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 420x420x430mm

Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 régulateurs centrifuges
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Vibrations

Les phénomènes de modification périodique d'une grandeur physique en fonction du temps sont désignés par le terme de vibrations. Ils s'accompagnent de la transformation de différentes formes d'énergies.

Lors de vibrations mécaniques, de l'énergie potentielle est périodiquement transformée en énergie cinétique et inversement. Toute vibration mécanique est un mouvement à accélération irrégulière. Elle est produite par l'apport d'énergie à un système vibrant, un pendule par exemple, auquel on a donné une impulsion.

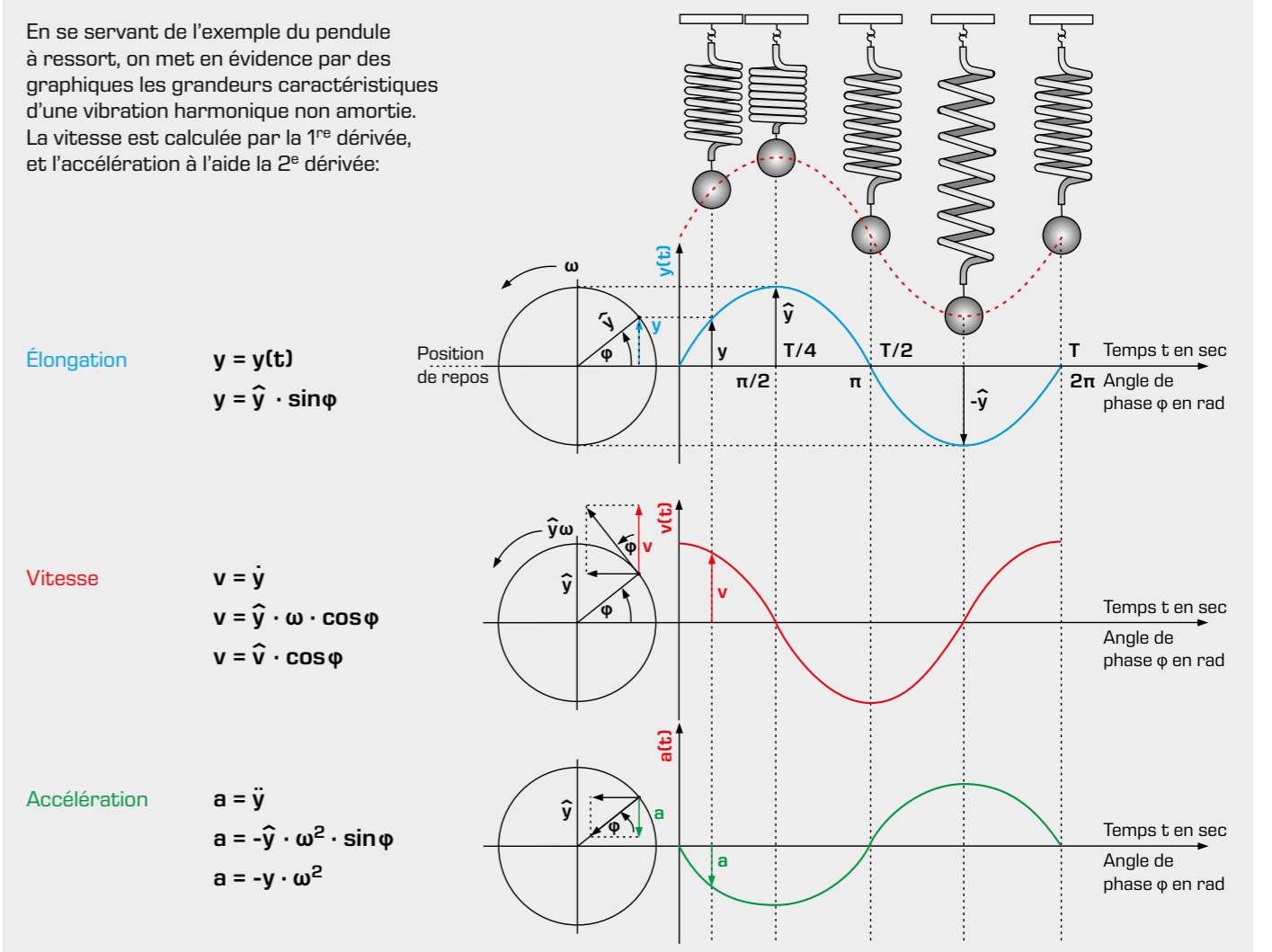
Si le système oscille en permanence avec une amplitude constante, il s'agit alors d'une vibration **non amortie**. Sauf si on lui apporte de l'énergie supplémentaire, toute vibration est plus ou moins amortie, c'est-à-dire que son amplitude diminue selon une loi générale. Lorsqu'il est possible de décrire la courbe de la vibration par une fonction sinus, on l'appelle vibration **harmonique**.

Grandeurs caractéristiques d'une vibration

Grandeur caractéristique	Formule (signes)	Description
Élongation	$y = y(t)$	Distance momentanée du corps oscillant de sa position au repos ou de sa position d'équilibre
Amplitude	\hat{y} oder y_m	Valeur maximale de l'élongation
Fréquence	$f = 1/t$	Nombre de vibrations par unité de temps t
Durée de vibration (durée de la période)	$T = 1/f$	Durée d'une vibration complète
Fréquence angulaire	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	Vitesse angulaire du mouvement circulaire dont la projection donne la vibration harmonique; indique l'angle de phase balayé de la vibration par intervalle de temps.
Angle de phase (phase)	$\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0$	Indique l'état momentané d'un système oscillant harmoniquement ou d'un arbre (dans des unités d'angle comme le degré ou le radian); une période de vibration correspond à un angle de phase de 2π
Angle de phase zéro (constante de phase)	φ_0	Angle de phase à l'instant $t = 0$
Force de rappel	F_R	Force qui entraîne constamment le corps vibrant vers sa position de repos; elle est opposée à l'élongation
Grandeur de référence	k	Facteur de proportionnalité entre la force de rappel et l'élongation; identique à la rigidité de ressort dans le cas de vibrations élastiques
Fréquence propre		Fréquence à laquelle le système vibre selon un mode propre après une excitation unique
Amortissement		Réduction régie par des lois générales de l'amplitude au cours de la vibration

Vibration harmonique non amortie

En se servant de l'exemple du pendule à ressort, on met en évidence par des graphiques les grandeurs caractéristiques d'une vibration harmonique non amortie. La vitesse est calculée par la 1^{re} dérivée, et l'accélération à l'aide la 2^e dérivée:



Vibration de torsion

Lors d'une vibration de torsion, un corps solide pivotant vibre autour de ses axes (degré de liberté rotatif) contrairement à la vibration translationnelle. Les termes rotation et torsion sont utilisés en tant que synonymes. On utilise le terme de vibration de torsion dans le cas d'un arbre qui se tord (ou se torsionne).

La vibration de torsion est rendue possible par un **moment de redressement** qui est en permanence proportionnel, mais de direction opposée à l'angle de torsion.

En principe, les lois générales applicables à la vibration linéaire s'appliquent aussi aux vibrations de torsion.

Élongation	y	$\hat{=}$	Angle de torsion	$\varepsilon = \hat{\varepsilon} \cdot \sin \varphi$
Vitesse	$v = \dot{y}$	$\hat{=}$	Vitesse angulaire	$\dot{\varepsilon} = \hat{\varepsilon} \cdot \omega \cdot \cos \varphi$
Accélération	$a = \ddot{y}$	$\hat{=}$	Accélération angulaire	$\ddot{\varepsilon} = \hat{\varepsilon} \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi$

TM 161**Pendule à tige et pendule à fil****Contenu didactique/essais**

- durée d'oscillation du pendule à fil et du pendule à tige
- détermination du centre de gravité du corps sur le pendule à tige
- longueur de pendule réduite et centre d'inertie du pendule à tige

Spécification

- [1] essais sur les oscillations pendulaires, comparaison d'un pendule physique et d'un pendule mathématique
- [2] pendule à tige (pendule physique) en métal logé dans un palier à couteau
- [3] palier à couteau mobile monté sur la tige pour variation de la longueur active du pendule
- [4] poids pour le pendule à tige, mobile
- [5] pendule à fil comme pendule mathématique
- [6] longueur ajustable du pendule à fil
- [7] chronographe pour la mesure de la durée de l'oscillation
- [8] support pour montage mural

Caractéristiques techniques**Pendule à fil**

- longueur jusqu'à 2000mm
- fil en nylon
- poids
 - ▶ diamètre: 50mm
 - ▶ masse: 0,52kg

Pendule à tige

- longueur: 1000mm
- diamètre: 8mm
- masse: 0,39kg
- poids du pendule
 - ▶ diamètre: 50mm
 - ▶ masse: 0,49kg

Chronographe: 1/100s

Lxlxh: 250x80x2000mm
Poids: env. 5kg**Liste de livraison**

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

Description
■ étude d'oscillations pendulaires
■ comparaison du pendule physique et du pendule mathématique

Les pendules effectuent des oscillations de torsion. La force de gravité produit le moment de redressement. On fait la distinction entre le pendule mathématique et le pendule physique. Un pendule mathématique décrit un pendule à fil idéalisé. Sur le pendule physique, on tient compte de la forme et de la taille du corps de pendule. Les deux pendules sont des modèles théoriques destinés à décrire un pendule réel.

Le TM 161 permet d'étudier les oscillations pendulaires. On compare un pendule à fil (comme pendule mathématique) et un pendule à tige (comme pendule physique). L'appareil comprend une tige en métal avec une masse supplémentaire mobile. Il est possible d'ajuster le point de suspension au niveau du palier à couteau du pendule. La longueur du pendule à fil peut être facilement modifiée à l'aide d'un dispositif de blocage.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

TM 162**Pendules à suspension bifilaire / trifilaire****Contenu didactique/essais**

- influence de la longueur des fils sur la durée des oscillations
- détermination du moment d'inertie de masse

Spécification

- [1] étude du comportement d'oscillation de différents corps de pendule avec suspension bifilaire et trifilaire
- [2] étude d'un pendule mathématique (bifilaire) et d'un pendule physique (trifilaire)
- [3] 3 corps de pendule au choix: poutre, cylindre, anneau
- [4] modification de la longueur des fils grâce à un dispositif de blocage
- [5] chronographe de mesure de la durée d'oscillation
- [6] détermination du moment d'inertie de masse
- [7] fixation pour montage mural

Caractéristiques techniques**Corps de pendule**

- poutre
 - ▶ Lxlxh: 40x40x160mm
 - ▶ masse: 2kg
- cylindre
 - ▶ diamètre: 160mm
 - ▶ hauteur: 19mm
 - ▶ masse: 3kg
- anneau
 - ▶ diamètre extérieur: 160mm
 - ▶ diamètre intérieur: 100mm
 - ▶ hauteur: 41mm
 - ▶ masse: 4kg

Longueur des fils: jusqu'à 2000mm

Chronographe: 1/100s

Lxlxh: 205x200x2000mm
Poids: env. 12kg**Liste de livraison**

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

Description
■ pendule mathématique et pendule physique
■ moment d'inertie dans l'essai de pendule rotatif

Sur une suspension bifilaire, un corps de pendule est suspendu à deux fils. Le corps de pendule oscille dans un plan translationnel sans rotation. Un tel pendule peut être considéré comme un pendule mathématique. Sur une suspension trifilaire (à trois fils), le corps de pendule effectue une oscillation de torsion. L'oscillation de torsion permet de déterminer le moment d'inertie de manière expérimentale.

Le TM 162 permet d'étudier les oscillations de pendules à suspension bifilaire ou trifilaire. Une poutre, un cylindre ou un anneau sert de corps de pendule. La longueur des fils peut être modifiée à l'aide de dispositifs de blocage. Les moments d'inertie des corps de pendules peuvent être calculés à partir de la durée mesurée des oscillations. La modification de la longueur des fils permet de varier la durée des oscillations.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

TM 163

Vibrations de torsion



Description

■ vibrations de différentes barres de torsion

Lors des vibrations de torsion, un moment de redressement est produit par la torsion d'une barre du système vibrant; ce moment tend à ramener la masse en rotation vers sa position de repos.

Le TM 163 permet d'étudier les vibrations de torsion sur des barres de torsion de différents diamètres et longueurs. Les barres de torsion sont serrées à leur extrémité supérieure dans un mandrin à serrage rapide.

Un disque circulaire massif ou un anneau est fixé à l'extrémité inférieure de la barre au moyen d'un mandrin à serrage rapide. Ces derniers ont la même masse et le même diamètre, mais ils ont des moments d'inertie différents en raison de leur forme.

Les barres de torsion peuvent être rapidement et facilement échangées et leur longueur modifiée. La durée de vibration est mesurée.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

Contenu didactique/essais

- détermination de la durée des vibrations en fonction
 - ▶ de la longueur de la barre de torsion
 - ▶ du diamètre de la barre de torsion
 - ▶ de la masse en rotation et de sa forme

Spécification

- [1] vibrations de torsion sur différentes barres de torsion
- [2] 5 barres de torsion en aluminium de différents diamètres
- [3] longueur active des barres de torsion ajustables
- [4] échange des composants grâce à des mandrins à serrage rapide
- [5] génération de la vibration de torsion par le biais d'un disque circulaire ou d'un anneau
- [6] chronographe pour la mesure de la durée de vibration
- [7] fixation pour montage mural

Caractéristiques techniques

- 5 barres de torsion
- aluminium
 - longueur: 1100mm
 - diamètre: 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm

- Anneau
- diamètre extérieur: 160mm
 - diamètre intérieur: 100mm
 - hauteur: 31mm
 - moment d'inertie: 0,01335kgm²

- Disque circulaire
- diamètre: 160mm
 - hauteur: 19mm
 - moment d'inertie: 0,0096kgm²

Chronographe: 1/100s

Lxlxh: 700x200x200mm
Poids: env. 12kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

TM 164

Vibrations d'un ressort spiral



Description

■ vibrations de torsion d'un système masse-ressort

Sur les ressorts de type spiral, la force de rappel est produite par la déformation élastique d'une bande métallique en forme de spirale d'Archimède. Lorsqu'une masse est fixée sur un ressort, on parle de système masse-ressort. La résistance exercée par le ressort contre la déformation élastique est ce qu'on appelle la rigidité de ressort. Elle est une grandeur caractéristique de ce dernier.

Le TM 164 est constitué d'un ressort spiral relié à un levier rotatif. Des masses peuvent être placées à différentes distances sur le levier. On obtient alors un système masse-ressort sur lequel on peut étudier l'influence de la rigidité de ressort, de la masse et de la distribution de la masse sur la fréquence de vibration. L'angle de déviation peut être lu sur une échelle d'angle.

L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur.

Contenu didactique/essais

- détermination de la rigidité d'un ressort spiral
- détermination de la fréquence propre d'un système masse-ressort
- étude de l'influence de la masse et de la distribution de la masse

Spécification

- [1] étude des vibrations sur un système masse-ressort
- [2] levier avec masse mobile pour déviation du ressort spiral
- [3] distance ajustable de la masse par rapport à l'axe de rotation
- [4] échelle d'angle pour lecture de l'angle de déviation
- [5] chronographe pour la mesure de la durée de vibration
- [6] détermination de la fréquence propre et de la rigidité de ressort
- [7] fixation pour montage mural

Caractéristiques techniques

- Ressort spiral
- coupe transversale: 10x1mm
 - longueur du ressort: env. 800mm
 - rayon interne: 10mm
 - rayon externe: 50mm
 - distance entre les spires: 8,5mm

Masse mobile: 2x 0,5kg

Distance séparant la masse de l'axe de rotation

- 36...150mm

Angle de déviation

- max. 360°
- graduation 1°

Chronographe: 1/100s

Lxlxh: 250x200x360mm
Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

TM 150 Système didactique sur les vibrations

La science des vibrations requiert une compréhension très fine des mathématiques et de la physique. Dans les métiers techniques, la science des vibrations est incontournable. Pour aider les étudiants à assimiler cette discipline, les expériences pratiques sont très utiles.

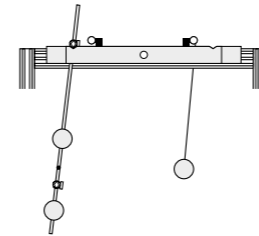
Le système didactique TM150 sur les vibrations a été spécialement conçu pour l'étude de cette thématique complexe; il permet de traiter de manière expérimentale une grande diversité de sujets relatifs aux vibrations.

- oscillations pendulaires
- systèmes masse-ressort
- vibrations libres et vibrations forcées
- vibrations amorties
- vibrations de poutres
- systèmes à deux masses et effets d'absorption

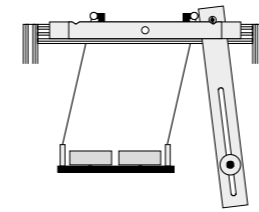
TM 150 Système didactique sur les vibrations



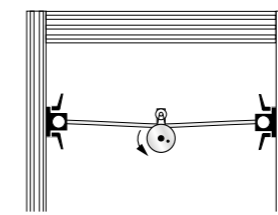
Pour permettre l'étude des **mouvements pendulaires**, le système didactique comporte différents types de pendules ainsi qu'un palier de pendule:



- 2 pendules à fil avec bille en acier et bille en bois
- 2 pendules à tige avec masses mobiles et paliers à couteau



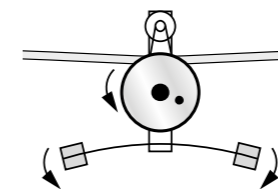
- 1 pendule physique en bois avec masses mobiles et palier à couteau
- 1 pendule à suspension bifilaire avec différentes masses



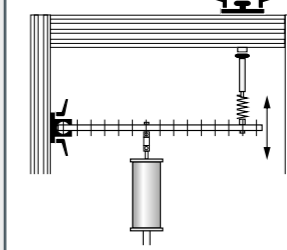
Étude des **vibrations forcées** au moyen d'un excitateur à balourd; fréquence et amplitude de force réglables de l'excitateur à balourd



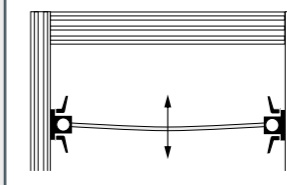
Absorbeur de vibrations réglable pour l'étude des effets d'absorption



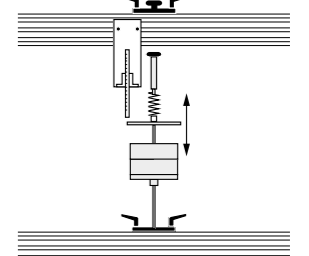
Pour la **poutre oscillante**, on dispose de deux types de poutres:



Poutre rigide comme oscillateur de rotation discret, logée dans un palier fixe, suspension à un ressort à vis. La trame perforée permet de reproduire une grande variété de configurations de fixation des ressorts, excitateurs et amortisseurs.



Poutre élastique comme continuum vibrant, logée dans un palier fixe ou libre à roulement à billes, pour un amortissement minimal du système



Étude d'un **système masse-ressort** avec

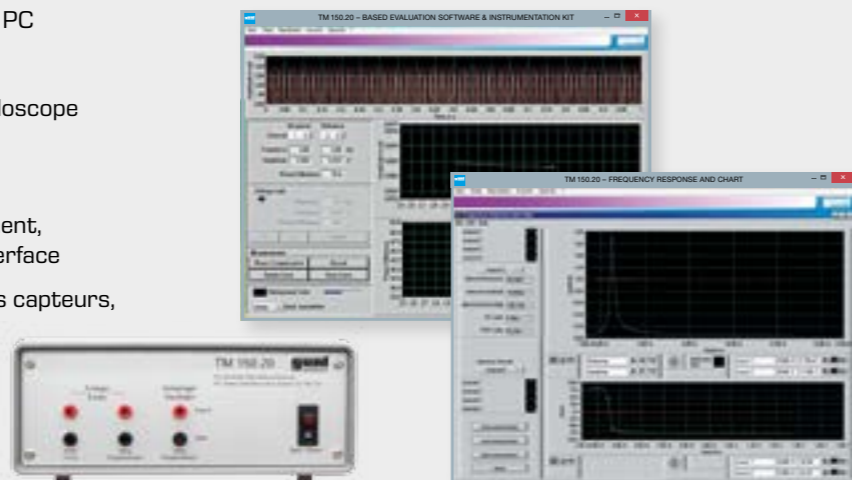
- fixation de ressort ajustable en hauteur
- fixation pour le positionnement de différentes masses
- ressorts à vis de rigidités différentes
- pied à coulisse pour la mesure de la déviation



Vibrations amorties par des amortisseurs visqueux ajustables ayant un frottement de Coulomb très faible

TM 150.20 Système d'acquisition de données

- évaluation des signaux vibratoires sur un PC
- courbes de fréquence et de phase
- toutes les fonctions principales d'un oscilloscope à mémoire numérique
- spectres de fréquence des signaux
- composé du logiciel, capteur de déplacement, capteur de référence et d'un boîtier d'interface
- le boîtier d'interface alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques



Jeu d'accessoires TM 150.02



Les **vibrations de torsion** jouent un rôle important dans les systèmes d'entraînement et doivent être contrôlées pour éviter tout dommage. Le jeu d'accessoires TM 150.02 permet de générer des **vibrations de torsion libres et amorties**, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude.

Le spectre d'essais comprend entre autres:

- la rigidité en torsion
- les moments d'inertie de masse
- les vibrations de torsion libres
- les vibrations de torsion amorties
- l'oscillateur avec différentes masses

Vous trouverez des détails sur le **TM 150.02** au chapitre 4.



Les pièces de montage sont à portée de main, et bien protégées dans un système de rangement.

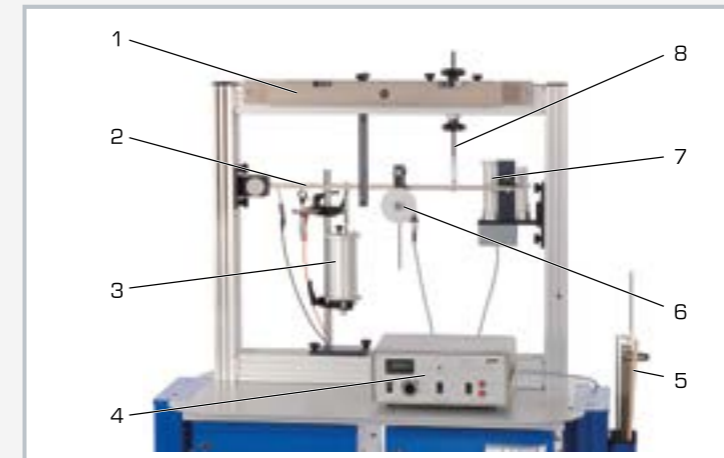
TM 150

Système didactique sur les vibrations

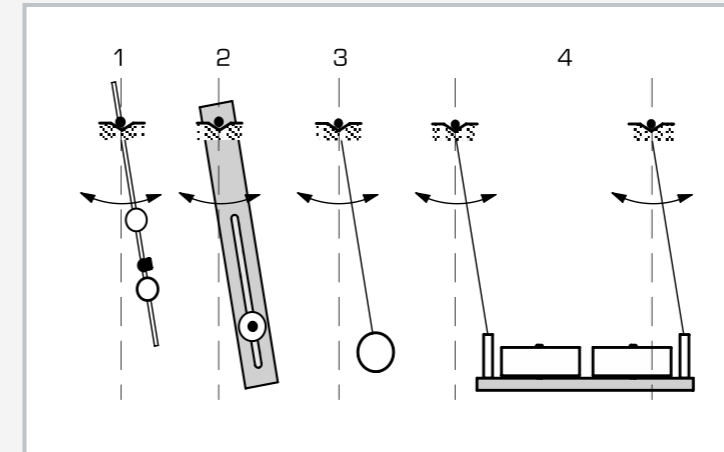


Contenu didactique/essais

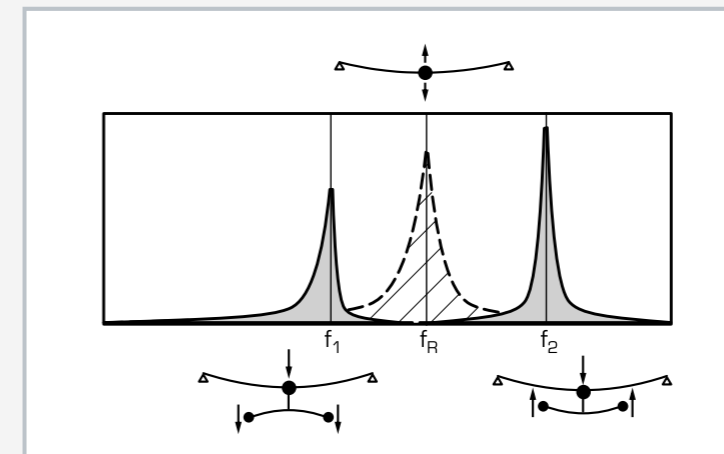
- essais avec des pendules
 - ▶ pendule de Kater (réversible)
 - ▶ longueur de pendule réduite
 - ▶ système masse-ressort
- poutre oscillante
 - ▶ vibration non amortie
 - ▶ vibration amortie
 - ▶ vibrations forcées
- résonance amortie et résonance non amortie
- effet d'absorption sur un oscillateur à plusieurs masses



1 palier de pendule, 2 poutre oscillante, 3 réservoir de l'amortisseur à huile, 4 appareil de commande pour excitateur à balourd, 5 rangement pour autres pendules, 6 excitateur à balourd, 7 traceur à tambour, 8 ressort



1 pendule à tige, 2 pendule en bois avec masse supplémentaire mobile, 3 pendule à fil, 4 pendule à fil bifilaire suspendu avec masses supplémentaires



Effet d'absorption des masses supplémentaires: la zone hachurée montre pour f_R la résonance d'une poutre oscillante non influencée. Les deux zones à fond gris pour f_1 et f_2 sont les nouvelles résonances du système. Pour f_R , l'amplitude du nouveau système de vibrations créé par l'absorbeur de vibrations disparaît presque totalement.

Spécification

- [1] système didactique sur les vibrations avec essais sur l'amortissement, la résonance, le système à deux masses et l'absorption de vibrations
- [2] 6 pendules oscillantes, 2 poutres oscillantes, 1 oscillateur masse-ressort
- [3] excitateur à balourd électrique
- [4] appareil de commande pour excitateur à balourd avec affichage de fréquence numérique et sortie TTL pour le déclenchement d'appareils externes
- [5] absorbeur de vibrations réglable avec ressort à lame
- [6] amortisseur à huile ajustable
- [7] traceur à tambour électrique pour l'enregistrement des vibrations libres
- [8] traceur de courbes polaires pour la détermination de l'amplitude et de la phase des vibrations forcées

Caractéristiques techniques

Poutre, rigide: Lxlxh: 700x25x12mm, 1,6kg
Poutre, élastique: Lxlxh: 25x4x700mm, 0,6kg

Ressorts de traction-compression

- 0,75N/mm
- 1,5N/mm
- 3,0N/mm

Excitateur à balourd

- 0...50Hz
- 100cmg

Amortisseur à huile: 5...15Ns/m

Absorbeur de vibrations

- ressort à lame: lxh: 20x1,5mm
- masse totale: env. 1,1kg
- réglable: 5...50Hz

Traceur à tambour: 20mm/s, largeur 100mm

Traceur de courbes polaires: $\varnothing=100$ mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1010x760x1800mm

Ouverture du bâti lxh: 870x650mm

Poids: env. 150kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 6 pendules
- 2 poutres
- 3 ressorts
- 1 appareil de commande pour excitateur à balourd
- 1 excitateur à balourd
- 1 amortisseur à huile
- 2 traceurs de courbes
- 1 documentation didactique

Description

- spectre d'essais approfondi et complet en science des vibrations mécaniques
- expériences sur différents pendules, poutres oscillantes et systèmes masse-ressort
- amortissement, résonance et effets d'absorption sur des vibrations forcées

Les vibrations mécaniques représentent, en règle générale, un effet secondaire indésirable rencontré dans de nombreux domaines techniques. On peut mentionner par exemple les vibrations des véhicules sur une route accidentée, ou encore les vibrations d'un moteur. La science des vibrations est un domaine particulièrement complexe de la mécanique.

Avec le système didactique TM 150 sur les vibrations, il est possible de traiter de nombreuses thématiques de la

science des vibrations d'une manière expérimentale et explicite. Cela va des simples oscillations pendulaires à l'absorption de vibrations, en passant par les vibrations forcées avec phénomènes de résonance.

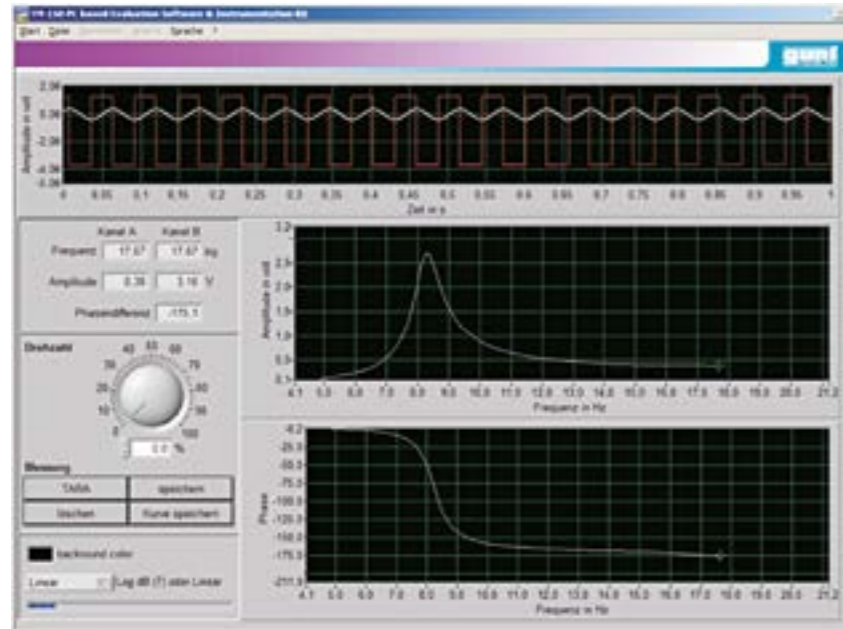
L'élément central du système didactique sur les vibrations est un cadre profilé stable sur lequel on peut fixer les différents montages expérimentaux. Les nombreux accessoires sont installés sur une table de laboratoire mobile disposant de tiroirs. Outre des vibrations libres, on peut aussi représenter des vibrations forcées au moyen d'un excitateur à balourd commandé par un moteur électrique. La fréquence d'excitation est ajustée et affichée sur un appareil de commande.

Un amortisseur à huile permet d'étudier les vibrations amorties en ajustant le degré d'amortissement. L'absorption de vibrations est mise en évidence par un oscillateur de flexion ajustable.

Un traceur à tambour mécanique et un traceur de courbes polaires offrent la possibilité d'enregistrer les vibrations. Avec le système d'acquisition de données TM 150.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC.

TM 150.20

Système d'acquisition de données



Description

- mesure et représentation de courbe déphasage-fréquence
- oscilloscope à mémoire numérique

Ce système d'acquisition de données complète le système didactique sur les vibrations TM 150, et permet d'évaluer les signaux vibratoires sur un PC. Ce système permet de générer, enregistrer et éditer facilement des courbes de fréquence et de phase. Le système offre en outre toutes les fonctions importantes d'un oscilloscope à mémoire numérique, et peut calculer les spectres de fréquence des signaux.

En plus du logiciel, d'un capteur de déplacement et d'un capteur de référence, un boîtier d'interface est compris dans la liste de livraison. Ce dernier alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques.

Tous les composants structurels du système sont disposés à portée de main et protégés dans un système de rangement.

Contenu didactique/essais

- essais supportés sur le système TM 150
 - ▶ vibration propre d'une poutre oscillante
 - ▶ vibration amortie d'une poutre oscillante
 - ▶ vibration forcée d'une poutre oscillante (résonance amortie et non amortie)
 - ▶ mesures de la fréquence et des périodes
 - ▶ pendule réversible

Spécification

- [1] interprét. des données pour TM 150
- [2] mesure, enregistrement et interprétation de courbe de fréquence et de fonction de transfert
- [3] fonctionnement pareil à celui d'un oscilloscope à mémoire numérique
- [4] 3 entrées de capteurs, 3 sorties analogiques
- [5] 1 capteur de déplacement inductif (amplitude), 1 capteur de référence (force d'excitateur)
- [6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Canaux d'entrée de capteur: 3
Entrées mode opératoire de l'oscilloscope: 2
Base de temps: 10...750ms/DIV
Plage de saisie: 2000 valeurs mesurées
Capteur de déplacement
■ plage de mesure: 5...10mm
■ gamme des fréquences: 0...50Hz

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option
Lxlxh: 260x110x260mm (boîtier d'interface); Poids: env. 7kg
Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

CD avec logiciel GUNT + câble USB, 1 boîtier d'interface, 1 capteur de déplacement, 1 capteur de référence, 1 jeu de câbles, 1 système de rangement, 1 notice

SE 110.58

Vibrations libres sur une poutre en flexion



L'illustration montre le SE 110.58 dans un bâti semblable au SE 112.



Description

- fréquences propres d'une poutre en flexion en vibration libre
- méthode d'approximation selon Rayleigh

Un oscillateur laissé à lui-même après une excitation unique effectue des vibrations libres. La fréquence de la vibration libre est la fréquence propre de l'oscillateur.

Sur le SE 110.58, une poutre en flexion est utilisée comme oscillateur du système. La poutre en flexion peut être placée en position verticale debout ou suspendue, ou en position horizontale dans le bâti de montage SE 112.

Sa fréquence propre peut être influencée aussi bien par le biais de la longueur de serrage que par des masses mobiles. La poutre en flexion est déviée manuellement et effectue des vibrations amorties libres. Les amplitudes résultantes sont enregistrées par des jauges de contrainte et un amplificateur de mesure. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, où, à l'aide du logiciel GUNT fourni, elles sont enregistrées, puis les résultats des essais y sont évalués graphiquement.

Contenu didactique/essais

- vibration libre d'une poutre en flexion verticale et horizontale
- détermination des fréquences propres selon Rayleigh
- influence de la longueur de serrage et de la masse sur la fréquence propre

Spécification

- [1] étude de la vibration libre d'une poutre en flexion
- [2] poutre en flexion élastique avec poids mobiles
- [3] la poutre en flexion peut être fixée sur les 4 côtés du bâti
- [4] mesure de l'amplitude par jauges de contrainte et amplificateur de mesure
- [5] représentation des résultats de mesure sur un PC
- [6] échelle de mesure des longueurs fixe
- [7] système de rangement pour les pièces
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Poutre en flexion
■ Lxlxh: 635x20x3mm
■ matériau: AlMgSi0,5F22

Poids
■ 10x 100g

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 720x480x180mm (système de rangement)
Poids: env. 14kg (total)

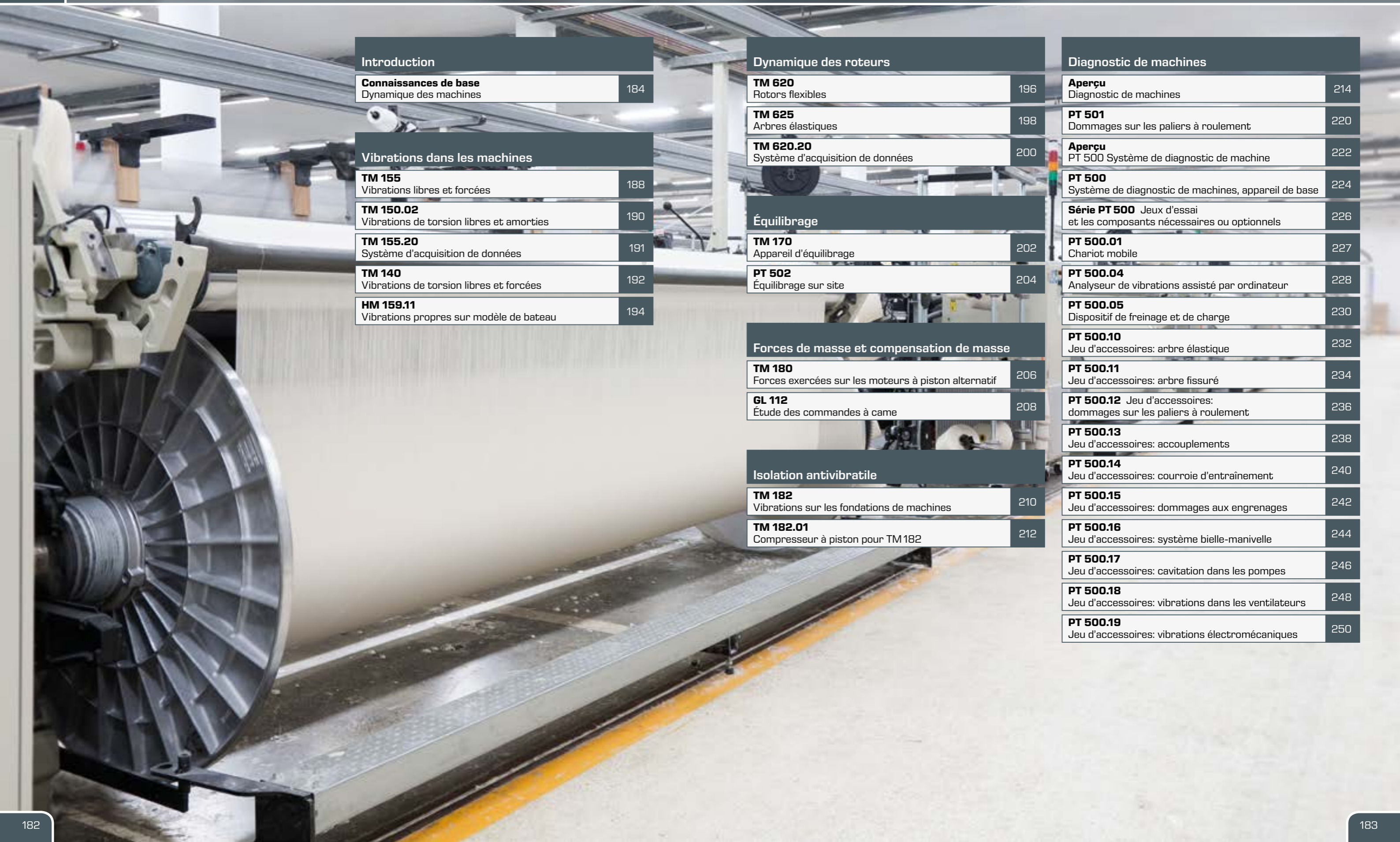
Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 poutre en flexion
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

4 Dynamique des machines



Introduction	
Connaissances de base Dynamique des machines	184

Vibrations dans les machines	
TM 155 Vibrations libres et forcées	188
TM 150.02 Vibrations de torsion libres et amorties	190
TM 155.20 Système d'acquisition de données	191
TM 140 Vibrations de torsion libres et forcées	192
HM 159.11 Vibrations propres sur modèle de bateau	194

Dynamique des rotateurs	
TM 620 Rotors flexibles	196
TM 625 Arbres élastiques	198
TM 620.20 Système d'acquisition de données	200

Équilibrage	
TM 170 Appareil d'équilibrage	202
PT 502 Équilibrage sur site	204

Forces de masse et compensation de masse	
TM 180 Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif	206
GL 112 Étude des commandes à came	208

Isolation antivibratile	
TM 182 Vibrations sur les fondations de machines	210
TM 182.01 Compresseur à piston pour TM182	212

Diagnostic de machines	
Aperçu Diagnostic de machines	214
PT 501 Dommages sur les paliers à roulement	220
Aperçu PT 500 Système de diagnostic de machine	222
PT 500 Système de diagnostic de machines, appareil de base	224
Série PT 500 Jeux d'essai et les composants nécessaires ou optionnels	226
PT 500.01 Chariot mobile	227
PT 500.04 Analyseur de vibrations assisté par ordinateur	228
PT 500.05 Dispositif de freinage et de charge	230
PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique	232
PT 500.11 Jeu d'accessoires: arbre fissuré	234
PT 500.12 Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	236
PT 500.13 Jeu d'accessoires: accouplements	238
PT 500.14 Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	240
PT 500.15 Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	242
PT 500.16 Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle	244
PT 500.17 Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes	246
PT 500.18 Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs	248
PT 500.19 Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques	250

Connaissances de base

Dynamique des machines



Dans le génie mécanique moderne, la dynamique des machines joue un rôle prééminent. Les exigences posées par les constructions légères et l'augmentation constante de la densité de puissance exposent de plus en plus les machines à des vibrations nuisibles. La dynamique des machines offre des moyens et outils qui aident à maîtriser ces problématiques.

Qu'est-ce que la dynamique des machines?

La dynamique des machines est la discipline qui traite du mouvement d'un système en tenant compte des forces qui agissent sur ce dernier.

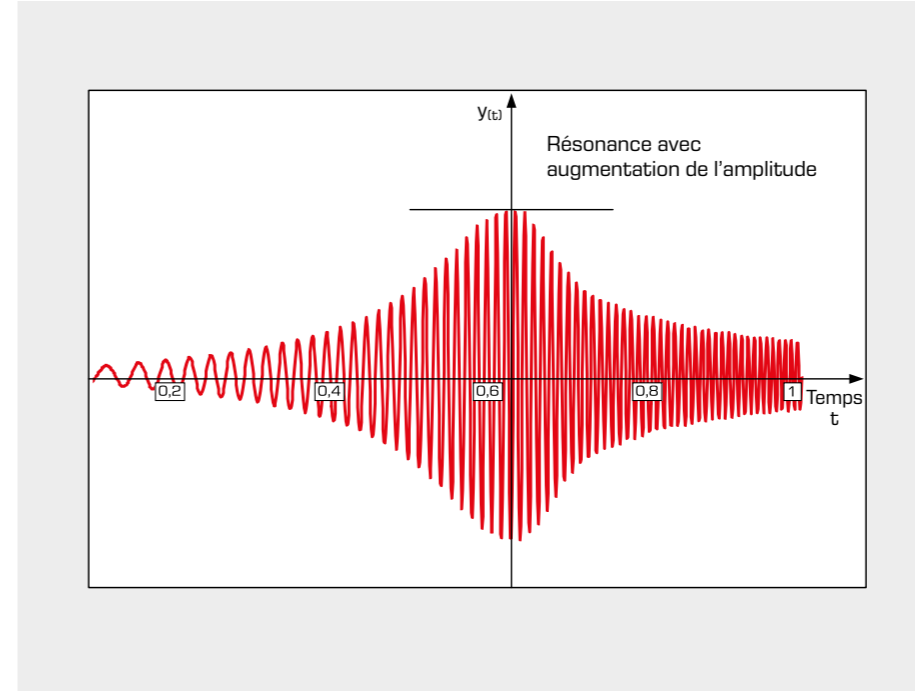
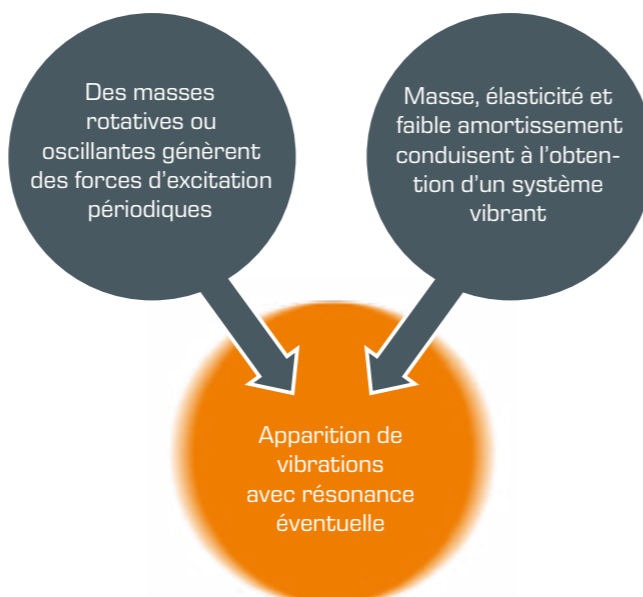
La dynamique des machines met en pratique les connaissances de la mécanique appliquée, en particulier de la dynamique, pour traiter les problèmes de machines réelles. L'action de l'inertie de masse et la présence de vibrations jouent ici un rôle important. La dynamique des machines permet de prévoir le comportement vibratoire d'une machine et de l'influencer de manière positive. Selon le cahier des charges, les vibrations peuvent être souhaitées (vibrateur, convoyeur oscillant) ou indésirables (moteurs, turbines).

Pour être en mesure d'analyser et d'évaluer les vibrations, on emploie des méthodes issues de la technique de mesure des vibrations. Il existe également des liens étroits avec les domaines de la conception mécanique, des éléments de machine ou de la technique d'entraînement.

Quand les problèmes de vibration apparaissent-ils?

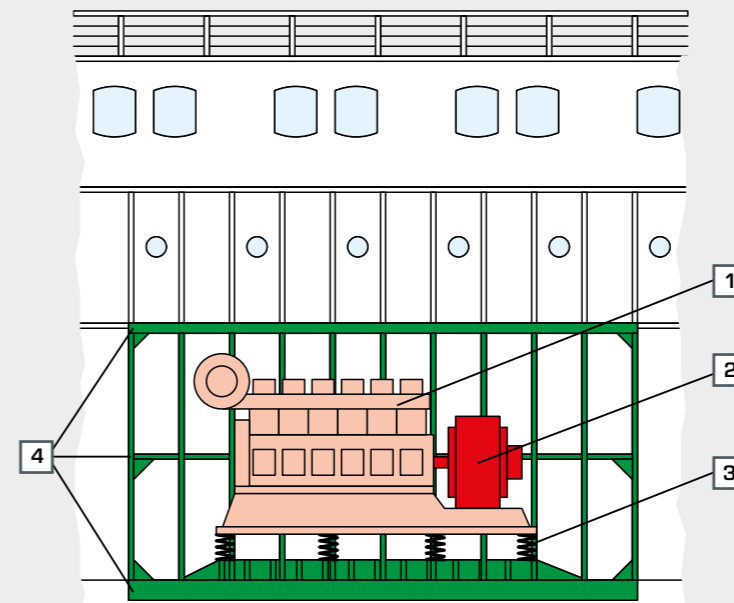
Lorsque les deux conditions suivantes sont remplies, des problèmes de vibrations sont possibles:

- forces d'excitation périodiques
- système vibrant



L'illustration montre l'augmentation des vibrations au passage de la résonance d'un système vibrant. Les amplitudes de vibration très élevées peuvent entraîner la destruction de la machine. Dans la pratique, il faut donc, au cas où elles ne peuvent être évitées, traverser rapidement ces résonances ou vitesses critiques.

Mesures visant à éviter les problèmes de vibrations



Exemple de minimisation des vibrations indésirables sur une machine de bateau:

- 1 moteur diesel équipé d'une compensation de masse,
- 2 générateur équilibré, 3 palier à ressort pour l'isolation des vibrations,
- 4 structure renforcée du bateau pour rigidification du système

Dans la mesure du possible, il faut lutter contre les vibrations à la source. Les champs d'action prioritaires sont donc les suivants:

- minimiser les forces d'excitation par la compensation des masses ou l'équilibrage
- empêcher la transmission des forces en isolant les vibrations ou en les absorbant
- réduire la capacité vibratoire du système en rigidifiant les composants, en fixant une masse supplémentaire ou en utilisant des amortisseurs

Connaissances de base

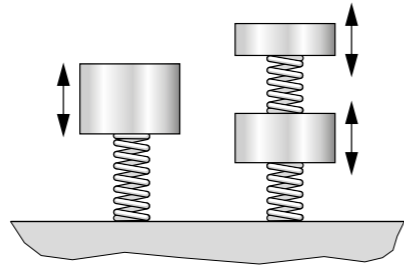
Dynamique des machines

En dynamique des machines, les machines réelles sont représentées par des modèles théoriques. Mais les machines sont souvent très compliquées et pas faciles à calculer. Par le biais de la simplification et de l'abstraction, on peut élaborer des modèles

mathématiques aussi bien pour les systèmes vibrants que pour les sources des forces d'excitation. Ces modèles mathématiques permettent de prévoir assez rapidement et facilement le comportement de la machine.

Oscillateurs linéaires avec un ou plusieurs degrés de liberté

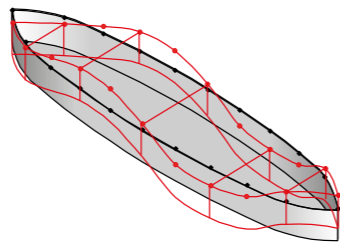
Le modèle le plus simple de système vibrant est l'oscillateur masse-ressort. On peut tirer de ce modèle de nombreux enseignements sur le comportement d'un système vibrant. La distribution de la rigidité et de la masse d'un système réel sont souvent décrites de manière satisfaisante en utilisant des masses ponctuelles concentrées et des ressorts sans inertie.



Oscillateur masse-ressort

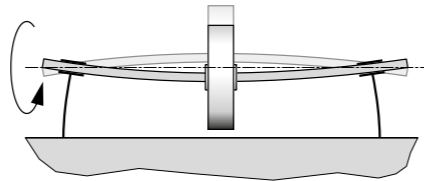
Oscillateurs continus

Des systèmes simples similaires existent pour les systèmes continus de vibrations comme la coque d'un bateau. Ici, un modèle simple de poutres donne de premières indications sur le comportement d'oscillation en cas d'excitation par la houle. Les fréquences propres et les modes propres correspondants sont ici intéressants à observer.

2^e mode propre de vibration d'une coque de bateau**Dynamique des rotors**

Les machines rotatives peuvent provoquer des vibrations sous l'effet des masses tournantes. Sur les rotors élastiques, les forces dues à la masse circulaire peuvent entraîner des flexions alternées et des résonances. De même, une rotation irrégulière peut provoquer des vibrations de torsion.

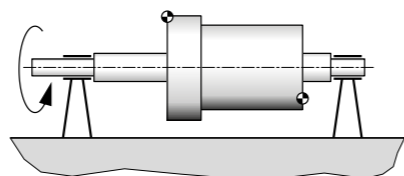
Connaître les vitesses critiques en flexion et en torsion est très important pour la construction et l'exploitation consécutive de la machine.



Arbre élastique avec disque de masse

Équilibrage de rotors

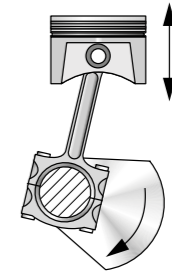
Les vibrations des machines rotatives peuvent être réduites au moyen d'équilibrages. Cela consiste à minimiser les forces d'excitation provoquées par les masses tournantes. On essaye d'ajuster le centre de gravité et l'axe d'inertie du rotor par rapport à son axe de rotation en ajoutant ou retirant des masses. Cette mesure est d'autant plus pertinente que l'équilibrage élimine la cause des vibrations.



Rotor avec points pour la compensation de masse

Machines à piston rotatif

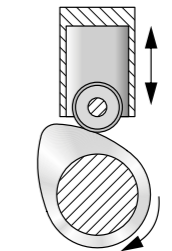
Dans les machines à piston rotatif, la dynamique des machines joue un rôle prééminent. Des forces diverses dues à la masse se forment suite au mouvement de va-et-vient et de rotation de masses de grande taille; en cas de dimensionnement inadéquat, des problèmes massifs de vibrations peuvent apparaître. La distribution des masses sur de nombreux cylindres, des rapports cinématiques adaptés et la disposition de masses de compensation permettent de maintenir les forces dues à la masse, qui en résultent à un niveau réduit. Cela permet d'obtenir un fonctionnement à vibrations limitées de la machine à piston rotatif.



Mécanisme bielle-manivelle

Commande à came

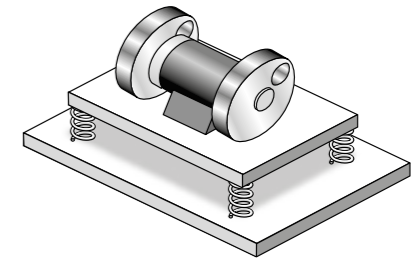
Les commandes à came sont utilisées pour transformer un mouvement de rotation dans le mouvement de va-et-vient que l'on souhaite. Les commandes à came sont utilisées comme actionneurs de soupape des moteurs ou dans les machines d'emballage. Les commandes à came mal dimensionnées produisent des accélérations élevées et des forces dues à la masse. Il en résulte bruits et vibrations. L'utilisation de la dynamique des machines permet de définir un dimensionnement qui limite au maximum les sollicitations et les vibrations.



Arbre à cames avec poussoir rond

Fondations de machine et paliers pour l'isolation des vibrations

Les fondations ou les paliers de machine sont conçus de manière à empêcher en large partie le transfert des vibrations de la machine vers son environnement. Cela évite les vibrations désagréables des bâtiments, installations ou véhicules. On parle ici d'isolation des vibrations. Avec les méthodes de la dynamique des machines, on détermine les propriétés du palier de la machine, et on calcule les effets sur l'environnement.



Excitateur à balourd sur fondation à ressort

Contenus de la dynamique des machines

Oscillateurs linéaires avec un degré de liberté	TM 150, TM 150.02, TM 155
Oscillateurs linéaires avec plusieurs degrés de liberté	TM 150, TM 140, TM 182
Vibrations des systèmes continus	HM 159.11, TM 625
Dynamique du rotor, vitesses critiques en flexion	TM 620, TM 625, PT 500.10
Technique d'équilibrage	TM 170, PT 500, PT 500.10, PT 502
Dynamique des machines de la machine à piston rotatif	TM 180, PT 500.16
Vibrations de commandes à came	GL 112
Isolation antivibratile	TM 182, TM 182.01
Technique de mesure des vibrations, principes de base de l'analyse des fréquences	PT 500 et ss., HM 159.11, TM 182
Surveillance de l'état des machines	PT 500 et ss., PT 501

GUNT propose une gamme très complète d'appareils d'essai sur le thème de la dynamique des machines. Elle s'oriente sur le programme de cours classique de dynamique des machines. En plus, des appareils sur les thèmes de la technique de mesure des vibrations et du diagnostic de machine sont également proposés.

TM 155

Vibrations libres et forcées



Description

- démonstration des principes de base élémentaires de la technique des vibrations mécaniques
- amortissement et résonance sur des vibrations forcées
- deux principes différents pour la génération de vibrations

Dans le domaine technique, on rencontre une grande diversité de vibrations forcées. Tandis que ces vibrations peuvent être dans certains cas souhaitées (tamiseuses à vibrations, convoyeurs oscillants...), elles sont à l'inverse souvent indésirables sur les moteurs ou autres machines rotatives. L'appareil d'essai TM 155 permet d'expliquer avec une grande clarté les principes de base relatifs aux vibrations libres et vibrations forcées. Les différences entre les deux types principaux d'excitation pour les vibrations forcées peuvent être clairement montrées sur un modèle de vibration simple.

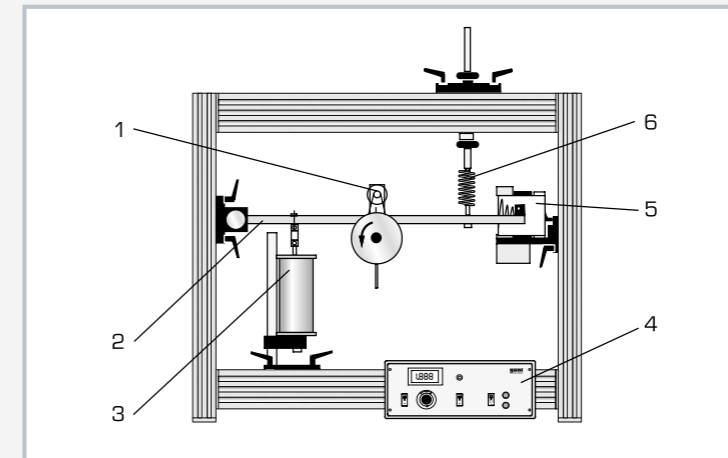
L'élément central de l'appareil d'essai est un cadre profilé stable en aluminium, sur lequel on peut fixer les différents montages expérimentaux. On utilise une poutre oscillante comme système de vibration.

Cette dernière peut être configurée facilement, et avec une grande flexibilité. Les ressorts, l'amortisseur et le générateur de vibrations peuvent être installés aux positions que l'on souhaite. Un excitateur à balourd et un excitateur à déplacement sont disponibles, au choix, pour l'excitation ponctuelle du pied du ressort.

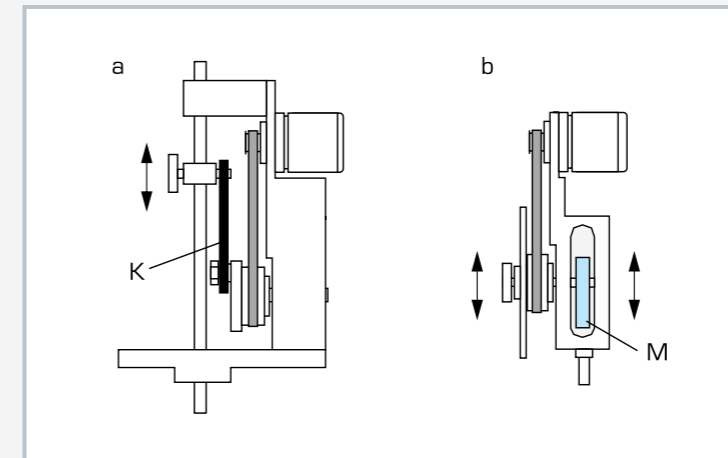
La fréquence d'excitation est ajustée et affichée sur un appareil de commande. Un amortisseur hydraulique à huile permet d'obtenir des vibrations amorties avec un degré d'amortissement ajustable. Un traceur à tambour mécanique offre la possibilité d'enregistrer les vibrations. Avec le système d'acquisition de données TM 155.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC. Un kit de travaux pratiques sur les vibrations de torsion (TM 150.02) est disponible comme accessoire.

Contenu didactique/essais

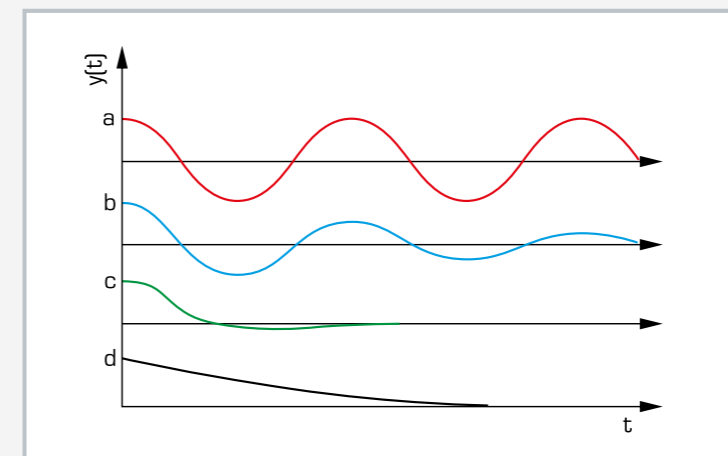
- vibrations libres
- vibrations amorties
- excitation de force due à la masse et excitation à déplacement
- vibrations forcées
- résonance
- réponse en amplitude et courbe de phase



1 excitateur à balourd, 2 poutre rigide comme oscillateur discret, 3 amortisseur, 4 appareil de commande pour excitateur à balourd, 5 traceur à tambour pour l'enregistrement des vibrations, 6 ressort de suspension et de vibration



a) excitateur à déplacement avec barre de couplage rigide K, b) excitateur à balourd avec disque de masse d'inertie monté de manière excentrique M



Formes de vibration avec différents amortissements D: a) pas d'amortissement, $D = 0$, vibration permanente, b) vibration faible, $0 < D < 1$, c) $D = 1$, cas limite apériodique, d) fort amortissement, $D > 1$, fluage; y elongation, t temps

Spécification

- [1] principes de base de la technique des vibrations mécaniques, vibrations libres amorties et vibrations forcées
- [2] poutre oscillante
- [3] 3 ressorts hélicoïdaux
- [4] excitateur à balourd avec moteur CC
- [5] excitateur à déplacement avec moteur CC
- [6] appareil de commande électronique avec affichage numérique, fréquence d'excitation ajustable
- [7] amortisseur rempli d'huile
- [8] traceur à tambour électrique
- [9] mesureur d'amplitude avec contact électrique pour l'activation d'appareils
- [10] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poutre oscillante: Lxlxh: 700x25x12mm, 1,6kg

Ressorts hélicoïdaux

- 0,75N/mm
- 1,5N/mm
- 3,0N/mm

Fréquence d'excitation: 0...50Hz, à régulation électronique

Balourd de l'excitateur à balourd: 0...1000mmg

Course de l'excitateur de déplacement: 20mm

Constante de l'amortisseur: 5...15Ns/m, rempli d'huile

Traceur à tambour mécanique

- avancée: 20mm/s
- largeur de la bande de papier: 100mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1000x420x900mm

Ouverture du bâti lxh: 870x650mm

Poids: env. 52kg

Système de rangement:

Lxlxh: 1170x480x237mm

Poids: env. 12kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 poutre oscillante
- 3 ressorts hélicoïdaux
- 1 excitateur à balourd
- 1 excitateur à déplacement
- 1 appareil de commande pour excitateur à balourd
- 1 amortisseur
- 1 mesureur d'amplitude
- 1 traceur à tambour
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

TM 150.02

Vibrations de torsion libres et amorties



Description

■ influence de la masse, de la rigidité en torsion et de l'amortissement sur le comportement d'un oscillateur de torsion

Les vibrations de torsion jouent un rôle important dans les systèmes d'entraînement. Des fréquences propres mal réglées peuvent produire des phénomènes de résonance, qui peuvent à leur tour provoquer des dommages importants.

Le TM 150.02 permet de générer des vibrations de torsion libres, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude. Le jeu d'accessoires est destiné au montage des systèmes didactiques sur les vibrations TM 150 ou TM 155.

Le jeu d'accessoires comprend trois barres de torsion différentes et deux disques de masse différents pour la construction d'oscillateurs de torsion. On peut varier la rigidité des barres de torsion en modifiant la longueur active de la barre, si bien que la fréquence propre de la vibration de torsion est largement ajustable.

On fixe les paliers et les disques de masse à l'aide de mandrins aux endroits souhaités sur les barres de torsion. Un amortisseur à huile permet de représenter des vibrations amorties. Un dispositif d'écriture à barres permet d'enregistrer les vibrations sur le traceur du TM 150/TM 155.

Contenu didactique/essais

- fréquence propre d'un oscillateur de torsion
- influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement

Spécification

- [1] essai sur les vibrations de torsion, qui vient en complément des systèmes didactiques sur les vibrations TM 150 et TM 155
- [2] 3 barres de torsion avec différents diamètres, longueur active au choix
- [3] 3 disques de masse différents avec mandrins
- [4] 3 paliers avec roulements à billes et mandrins
- [5] amortisseur à huile pour vibrations amorties
- [6] dispositif d'écriture pour l'enregistrement des vibrations dans TM 150/TM 155

Caractéristiques techniques

Barres de torsion, acier inox
 ■ diamètres: 3mm, 5mm, 6mm
 ■ longueur: 800mm

Disques de masse
 ■ petit: $\varnothing=150\text{mm}$ avec env. 2,7kg
 ■ grand: $\varnothing=228\text{mm}$ avec env. 4,8kg

Mandrins: $\varnothing=0,5...8,0\text{mm}$

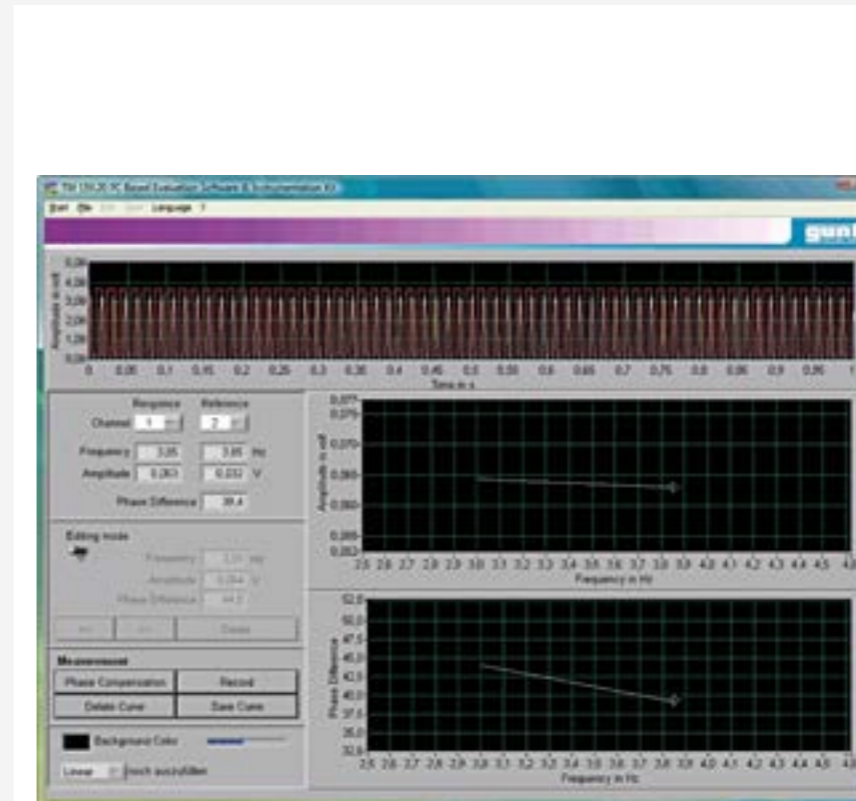
Lxlxh: 480x240x1180mm (monté)
 Poids: env. 33kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

TM 155.20

Système d'acquisition de données



Contenu didactique/essais

- essais supportés sur le système TM 155
 - ▶ vibration propre d'une poutre oscillante
 - ▶ vibration amortie d'une poutre oscillante
 - ▶ vibration forcée d'une poutre oscillante (résonance amortie et non amortie)
 - ▶ mesures de la fréquence et des périodes

Spécification

- [1] interprétation des données pour TM 155
- [2] mesure, enregistrement et interprétation de courbe de fréquence et de fonction de transfert
- [3] fonctionnement pareil à celui d'un oscilloscope à mémoire numérique
- [4] 3 entrées de capteurs, 3 sorties analogiques
- [5] 1 capteur de déplacement inductif (amplitude), 2 capteurs de référence (force d'excitateur)
- [6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Canaux d'entrée de capteur: 3
 Entrées mode opératoire de l'oscilloscope: 2

Base de temps: 10...750ms/DIV
 Plage de saisie: 2000 valeurs mesurées

Capteur de déplacement
 ■ plage de mesure: 5...10mm
 ■ gamme des fréquences: 0...50Hz

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase
 120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option
 Lxlxh: 260x110x260mm (boîtier d'interface); Poids: env. 7kg
 Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

CD avec logiciel GUNT + câble USB,
 1 boîtier d'interface, 1 capteur de déplacement, 2 capteurs de référence, 1 jeu de câbles, 1 système de rangement, 1 notice

Description

■ mesure et représentation de courbe déphasage-fréquence
■ oscilloscope à mémoire numérique

Ce système d'acquisition de données complète le système didactique sur les vibrations TM 155, et permet d'évaluer les signaux vibratoires sur un PC. Ce système permet de générer, enregistrer et éditer facilement des courbes de fréquence et de phase.

Le système offre en outre toutes les fonctions importantes d'un oscilloscope à mémoire numérique, et peut calculer les spectres de fréquence des signaux.

En plus du logiciel, d'un capteur de déplacement et d'un capteur de référence, un boîtier d'interface est compris dans la liste de livraison.

Ce dernier alimente jusqu'à trois capteurs, prépare leurs signaux de mesure pour le PC et les affiche sur trois sorties analogiques. Toutes les pièces de montage sont à portée de main, et bien protégées dans un système de rangement.

TM 140**Vibrations de torsion libres et forcées****Description**

- étude de la rigidité en torsion et des vibrations de torsion
- comportement des oscillateurs de torsion avec deux à trois masses

Des vibrations de torsion sont souvent observées dans les systèmes d'entraînement. En cas d'excitation suffisante des résonances, des amplitudes de vibration importantes peuvent apparaître, qui peuvent entraîner de fortes sollicitations des arbres et des engrenages, et peuvent même les endommager.

Le TM 140 permet de générer des vibrations de torsion libres et forcées, et d'étudier l'influence de la rigidité en torsion, de la masse et de l'amortissement sur la fréquence et l'amplitude.

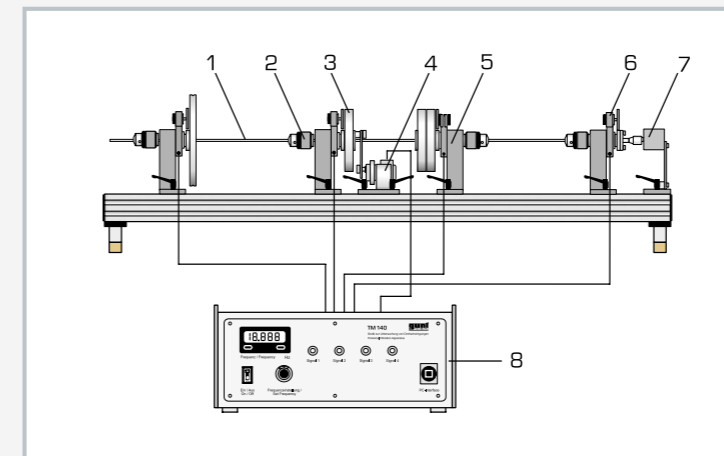
L'élément central de l'appareil d'essai est une barre de torsion en métal. Des mandrins de serrage permettent de fixer sur la barre des disques de masse ayant des inerties de torsion différentes. On construit ainsi un système à vibrations de torsion avec trois masses maximum. La rigidité en torsion peut être ajustée en variant la longueur active de la barre.

Une unité d'excitation électrique est utilisée pour représenter les vibrations forcées. La fréquence peut être ajustée et lue sur l'appareil de commande. Un amortisseur permet l'ajustage de différents degrés d'amortissement. Les vibrations de torsion sont saisies par des capteurs de vitesse de rotation positionnés sur les paliers de la barre de torsion, et sont disponibles sous forme de signal électrique sur l'appareil de commande. Tous les signaux sont également disponibles via une interface USB et peuvent être transférés sur un PC.

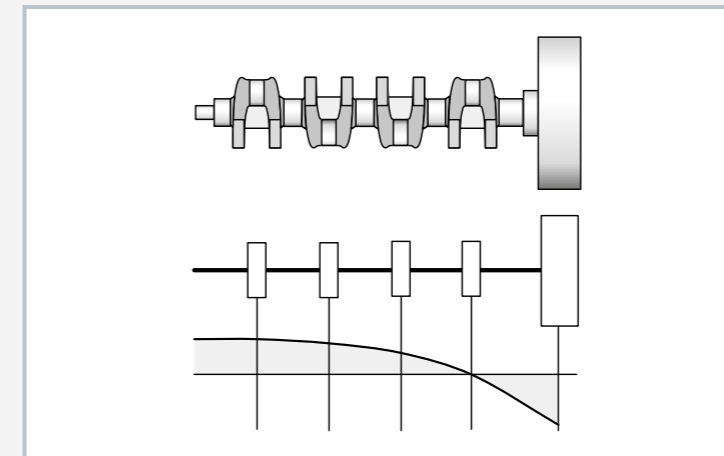
Le logiciel GUNT permet de sauvegarder et évaluer les signaux, et d'enregistrer ainsi une courbe de résonance, ou de représenter le mode propre des vibrations.

Contenu didactique/essais

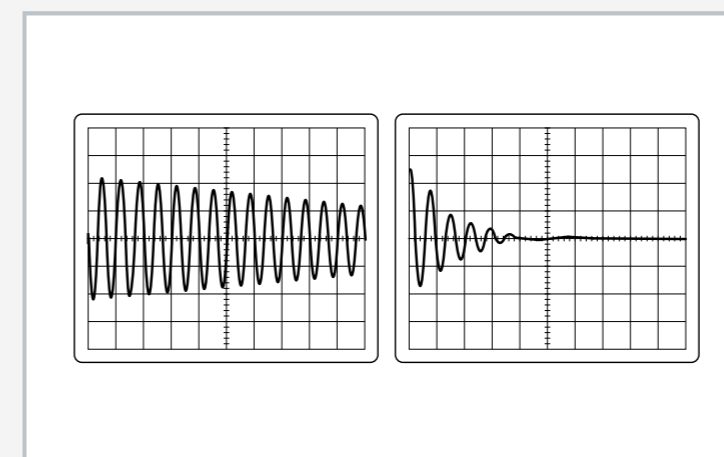
- détermination de la rigidité en torsion d'une barre de torsion
- détermination de moments d'inertie de masse
- évolution des vibrations de torsion dans le temps
- détermination de l'amortissement sur les vibrations de torsion
- vibrations de torsion forcées, résonance
- systèmes à vibrations de torsion à plusieurs masses
 - ▶ oscillateur de torsion à deux masses
 - ▶ oscillateur de torsion à trois masses



1 barre de torsion, 2 mandrin, 3 disque de masse, 4 unité d'excitation, 5 unité de palier, 6 capteur d'angle de rotation, 7 unité d'amortissement, 8 appareil d'affichage et de commande



Vilebrequin comme exemple d'oscillateur de torsion



Exemple d'oscillogramme: à gauche - vibration de torsion d'une barre de torsion avec disque de masse, faiblement amortie; à droite - la même vibration avec fort amortissement

Spécification

- [1] appareil d'essai pour l'étude des vibrations de torsion et de la rigidité en torsion
- [2] 3 disques de masse
- [3] 4 unités de paliers à roulement sur billes avec mandrins
- [4] amortisseur à huile fermé
- [5] unité d'excitation avec manivelle d'entraînement, amplitudes d'excitation 1,4°, 1,8°, 2,4°
- [6] 4 capteurs d'angle de rotation, 0,03V/°
- [7] appareil de commande d'excitation électrique pour l'ajustage et l'affichage de la fréquence d'excitation et l'alimentation du capteur de vibration de torsion
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Barre de torsion

- 1300mm
- Ø=6mm
- acier inox

Rigidité: env. 1,0Nm/rad/m

Disques de masse

- Ø=150mm, env. 2,7kg
- Ø=228mm, env. 4,8kg

Fréquence d'excitation: 1...20Hz

Coefficient d'amortissement: 0,25...3,5Nm/rad/s

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1400x410x400mm

Poids: env. 50kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 unités de palier
- 1 barre de torsion
- 3 disques de masse
- 1 exciteur
- 1 amortisseur tournant
- 1 appareil de commande
- 1 jeu de câbles
- 1 tournevis hexagonal de 4
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

HM 159.11**Vibrations propres sur modèle de bateau****Description**

- comportement dynamique d'une structure de bateau
- la forme simple du bateau facilite le traitement mathématique
- différents signaux d'excitation possibles
- points d'excitation et de mesure au choix

L'analyse expérimentale des vibrations fait aujourd'hui partie intégrante de la construction et du développement dans l'industrie navale.

Le HM 159.11 permet d'effectuer les premiers pas dans le domaine de l'analyse expérimentale des vibrations, et de l'analyse modale des structures. Ce banc d'essai permet d'étudier le comportement dynamique d'une structure de bateau, et d'enseigner de manière générale les principes de base de l'analyse expérimentale des vibrations.

Avec le HM 159.11, on peut mesurer et enregistrer les fréquences propres et modes propres d'un modèle de bateau. La forme simple et stylisée du bateau facilite le traitement par calculs du problème.

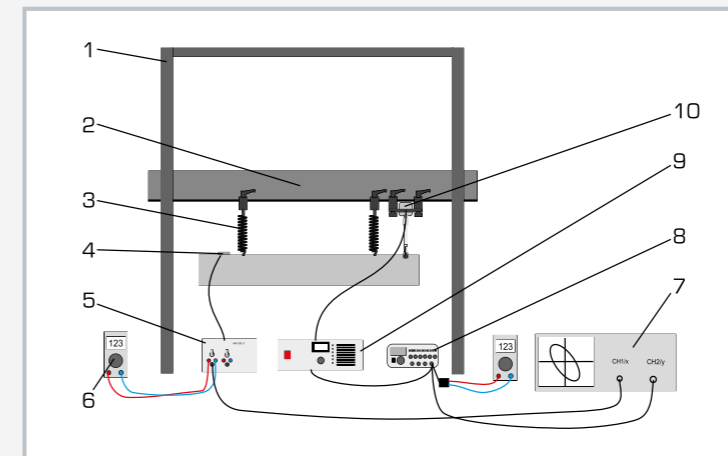
Le modèle de bateau en plastique est pourvu de neuf gouttières de pont, et a un plan horizontal de flottaison elliptique. Le modèle est fixé à une traverse rigide au moyen de ressorts. Grâce au caisson fermé de grande rigidité, la traverse possède une fréquence propre élevée qui ne perturbe pas les mesures.

Un générateur de vibrations électrodynamique produit des vibrations sur le modèle de bateau. Un générateur de fonctions produit le signal d'excitation qui est ajustable en amplitude et en fréquence. Un capteur d'accélération fixé à la position souhaitée mesure la réponse du modèle au signal d'excitation. Ce qui permet de générer pas à pas les fonctions de transmission pour différents points du modèle de bateau. On déduit ensuite de ces dernières les modes propres de vibration pour les différentes fréquences propres.

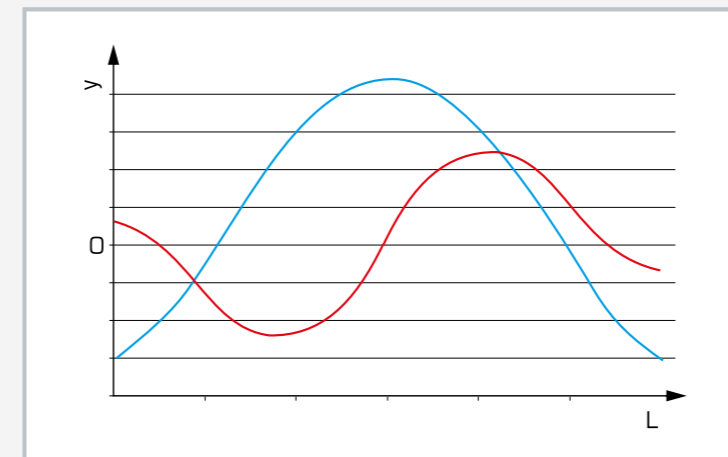
On peut également effectuer des essais dans de l'eau. On a besoin pour cela d'un réservoir supplémentaire (non compris dans la liste de livraison). Des essais complémentaires sont également possibles avec un ballast supplémentaire et des masses supplémentaires.

Contenu didactique/essais

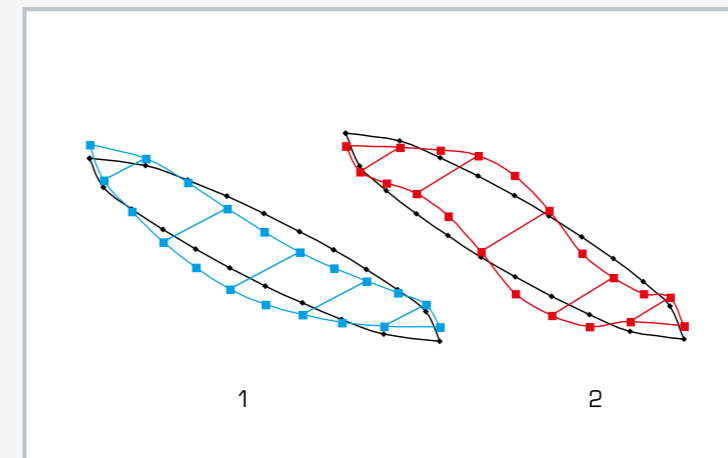
- mesure et enregistrement des fréquences propres et des modes propres du modèle de bateau (dans l'air)
- comportement de vibration du modèle de bateau dans l'air
- comparaison de la théorie (formule d'approximation pour la détermination de la 1^{re} fréquence propre en flexion) et de la pratique (fréquence propre mesurée)
- influence des masses supplémentaires discrètes ou du ballast sur la fréquence propre et le mode propre (ballast et masses supplémentaires non compris dans la liste de livraison)
- comportement de vibration du modèle de bateau sur l'eau (possible avec un réservoir supplémentaire)



1 bâti, 2 traverse réglable en hauteur, 3 ressorts de suspension du modèle de bateau, 4 capteur d'accélération, 5 amplificateur de mesure, 6 multimètre, 7 oscilloscope (non compris dans la liste de livraison), 8 générateur de fonctions, 9 amplificateur de puissance pour générateur de vibrations, 10 générateur de vibrations



Élongation y de la vibration, représentée sur la longueur L du modèle de bateau en bleu: fréquence propre du 1^{er} ordre, en rouge: fréquence propre du 2^e ordre



1 en bleu: fréquence propre du 1^{er} ordre, 2 en rouge: fréquence propre du 2^e ordre

Spécification

- [1] comportement de vibration d'un modèle de bateau dans l'air et dans l'eau (avec réservoir supplémentaire)
- [2] modèle de bateau fixé à des ressorts, génération de vibrations et mesure de l'accélération aux points souhaités
- [3] bâti avec traverse réglable en hauteur pour la fixation du modèle
- [4] fréquence propre élevée de la traverse grâce au caisson élevé de grande rigidité et de faible poids
- [5] modèle de bateau en plastique avec un plan horizontal de flottaison elliptique et 9 gouttières de pont
- [6] capteur d'accélération capacitif avec amplificateur de mesure, positionnement au choix
- [7] générateur de vibrations avec amplificateur de puissance adapté et générateur de fonctions: signal sinusoïdal, triangulaire ou rectangulaire
- [8] représentation possible des valeurs de mesure sur un oscilloscope (non compris dans la liste de livraison)

Caractéristiques techniques**Générateur de vibrations**

- de type électrodynamique avec aimant permanent
- force max.: 8,9N
- plage de fréquence: 5...12000Hz

Générateur de fonctions

- fréquence, amplitude et décalage ajustables
- sortie: 0...10Vss, 50 Ohm

Capteur d'accélération

- plage de mesure: $\pm 5g$
- plage de fréquence: 0...400Hz

Modèle de bateau

- gouttières de pont pourvues de trous de fixation pour le capteur de valeurs de mesure et suspension

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxIxh: 1800x400x1700mm (bâti)

LxIxh: 1200x200x150mm (modèle de bateau)

Poids: env. 50kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 modèle de bateau
- 4 ressorts
- 1 amplificateur de mesure
- 1 amplificateur de puissance
- 1 générateur de vibrations
- 1 générateur de fonctions
- 2 multimètres
- 1 capteur d'accélération
- 1 jeu de câbles
- 1 documentation didactique

TM 620

Rotors flexibles



Description

- étude des flexions alternées sur des rotors
- détermination des vitesses de rotation critiques
- position du palier du rotor et masse rotative ajustables

La vitesse de rotation critique et la résonance sont des phénomènes qui jouent un rôle important dans de nombreuses machines et installations. Sur les arbres rotatifs et les rotors en particulier, à certaines vitesses de rotation, apparaissent des états de résonance ayant des amplitudes de vibration trop élevées, et qui sont susceptibles d'endommager ou même de détruire la machine. C'est pourquoi il est important de connaître les vitesses de rotation critiques et les formes de vibration, pour la construction et l'exploitation de machines comportant des rotors flexibles.

L'appareil d'essai TM 620 permet de démontrer de manière explicite les phénomènes de résonance, d'auto-centrage et de forme de vibration. Le montage sous forme de modèle du rotor d'essai, composé d'un arbre élastique mince et de disques de masse rigides, permet de bien comprendre la théorie liée aux phénomènes de vibration.

L'influence des différents paramètres peut être étudiée en variant librement la disposition des paliers et des disques. On peut également démontrer la limitation des amplitudes en cas de traversée rapide des résonances.

Un moteur triphasé entraîne un arbre de rotor sur lequel sont fixées une ou deux masses à des distances variables. L'arbre de rotor est monté dans deux roulements à billes à rotule, et relié au moteur par un accouplement flexible. La vitesse de rotation à régulation électronique est préconfigurable et ajustable en continu au moyen de deux potentiomètres. Elle est indiquée sur un affichage numérique.

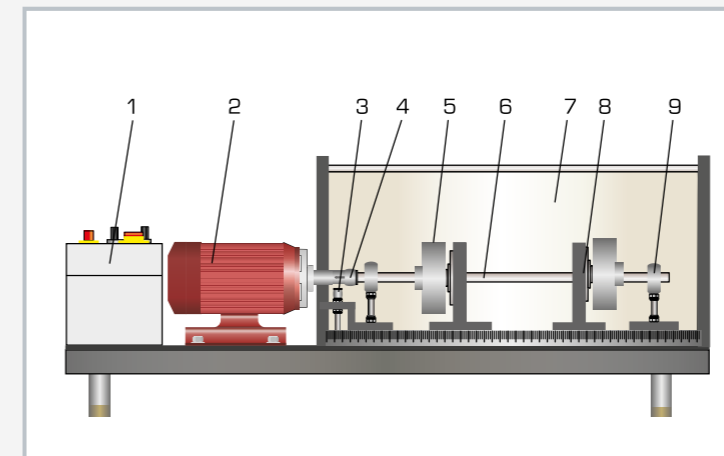
Une échelle installée parallèlement à l'arbre de rotor permet de lire la position des éléments fixés sur l'arbre de rotor et les distances qui les séparent.

Un capot de protection transparent, ainsi que des paliers d'arrêt se trouvant juste à côté des masses fixées sur l'arbre de rotor, assurent la sécurité de fonctionnement.

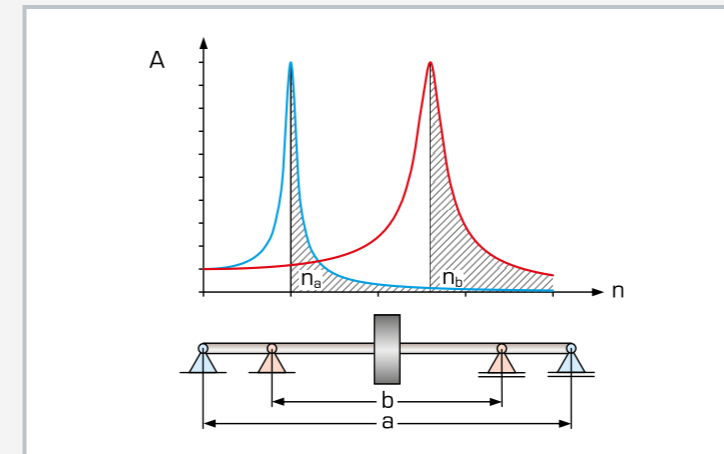
Avec le système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC.

Contenu didactique/essais

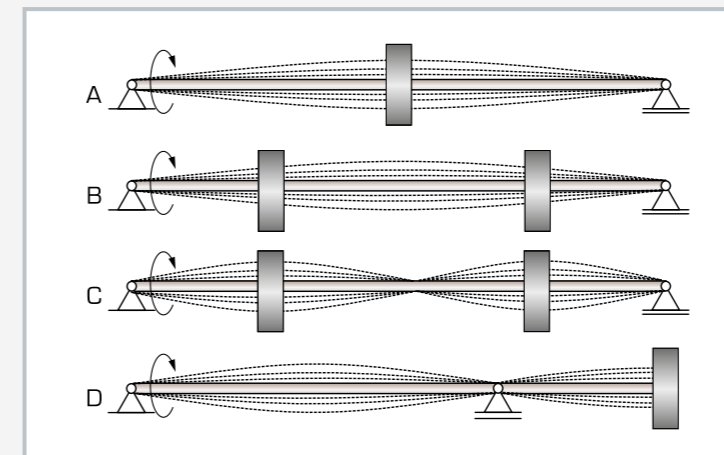
- étude des flexions alternées et de la résonance sur un arbre rotatif
- détermination des vitesses de rotation critiques pour différentes dispositions des paliers et des masses sur l'arbre de rotor, et comparaison avec la théorie
- étude de l'auto-centrage de l'arbre de rotor



1 armoire de commande, 2 moteur, 3 capteur de vitesse de rotation inductif, 4 accouplement flexible, 5 disque de masse, 6 arbre de rotor, 7 capot de protection, 8 palier d'arrêt, 9 roulement à billes à rotule



Lorsque l'on réduit la distance du palier, la vitesse de rotation critique augmente; A amplitude, n vitesse de rotation; n_a vitesse de rotation critique à la distance de palier a, n_b vitesse de rotation critique à la distance de palier b, zone hachurée: vitesse de rotation surcritique



Différentes dispositions pour l'étude de la vitesse de rotation critique: A disque de masse en position centrale, B deux disques de masse à la première vitesse de rotation critique, C deux disques de masse à la seconde vitesse de rotation critique, D disque de masse sur palier flottant

Spécification

- [1] étude des flexions alternées et de la résonance des rotors
- [2] 2 roulements à billes à rotule pour le logement de l'arbre de rotor, positionnables à l'endroit souhaité
- [3] 2 masses à fixer à la position souhaitée
- [4] paliers d'arrêt et capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé
- [5] moteur triphasé: 2 plages de vitesse de rotation pré-sélectionnables et commutables, vitesse de rotation régulée électroniquement et ajustable en continu
- [6] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [7] système d'acquisition de données (TM 620.20) disponible en option

Caractéristiques techniques

Moteur triphasé

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation max.: 3000min⁻¹

Arbre de rotor

- L=500mm
- Ø=6mm
- acier haute résistance

2x masses, en forme de disques

- m=965g
- Ø=80mm
- acier trempé

Paliers de l'arbre

- 2x roulements à billes à rotule
- 2x paliers d'arrêt
- jeu des paliers d'arrêt: ±3mm
- distance ajustable des paliers: 300...470mm

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 300...3000min⁻¹
- échelle de mesure d'écart: 0...500mm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxHx: 1150x390x375mm
Poids: env. 49kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

TM 625

Arbres élastiques



Description

- étude des modes propres sur différents arbres avec affectation continue de masses, et étude du rotor de Laval
- visibilité optimale et protection grâce au capot de protection transparent

Il est souvent question de vitesses de rotation critiques et de résonance à propos des systèmes rotatifs. La résonance apparaît lorsque la fréquence propre et la fréquence d'excitation coïncident. La fréquence propre d'un système vibrant est la fréquence à laquelle le système peut, après une seule excitation, vibrer avec le mode propre correspondant. Avec ses amplitudes de vibration élevées, le fonctionnement à vitesse critique peut endommager le système. Pour étudier plus en détail le phénomène des vibrations d'arbres, deux modèles de calcul simplifiés sont disponibles: dans le premier cas, la masse de l'arbre élastique est distribuée de manière homogène sur sa longueur, et dans le second cas l'arbre est composé de parties d'arbre élastiques sans masse et les masses sont réunies en disques de masse discrets.

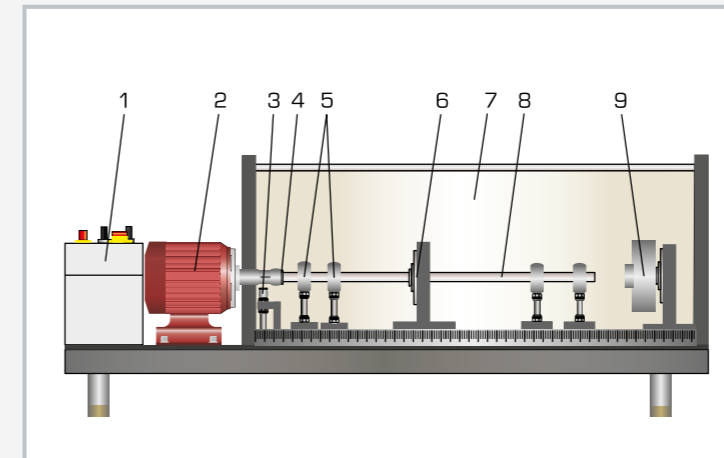
L'appareil d'essai TM 625 permet d'étudier les modes propres de ces différents modèles. Les essais, très explicites, aident à bien comprendre et approfondir le phénomène de résonance et les états surcritiques et sous-critiques d'un système oscillant. On dispose de six arbres dont les longueurs et diamètres sont différents. Quatre roulements à rotule sur billes peuvent être articulés sur l'arbre, et ce dernier peut être affecté d'une masse pour former un rotor de Laval. Les positions axiales sont lues sur une échelle installée parallèlement à l'arbre. Un moteur triphasé entraîne l'arbre par le biais d'un accouplement flexible. La vitesse de rotation à régulation électronique est préconfigurable et ajustable en continu au moyen de deux potentiomètres. Elle est affichée numériquement.

Un capot de protection transparent, ainsi que des paliers d'arrêt, assurent un fonctionnement sécurisé.

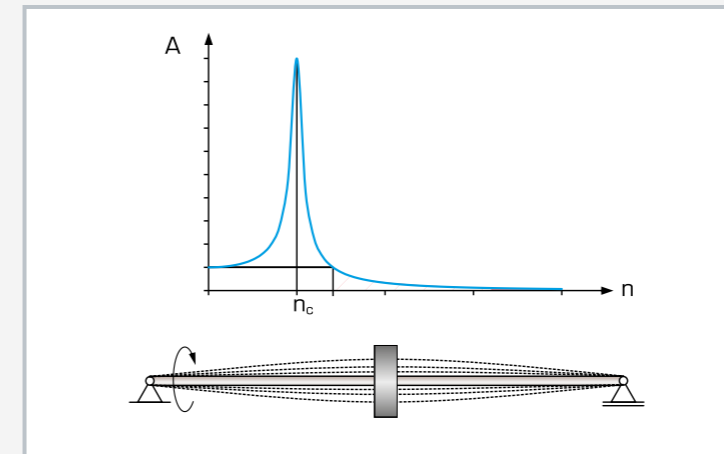
Avec le système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option, les valeurs de mesure peuvent être affichées et évaluées sur un PC.

Contenu didactique/essais

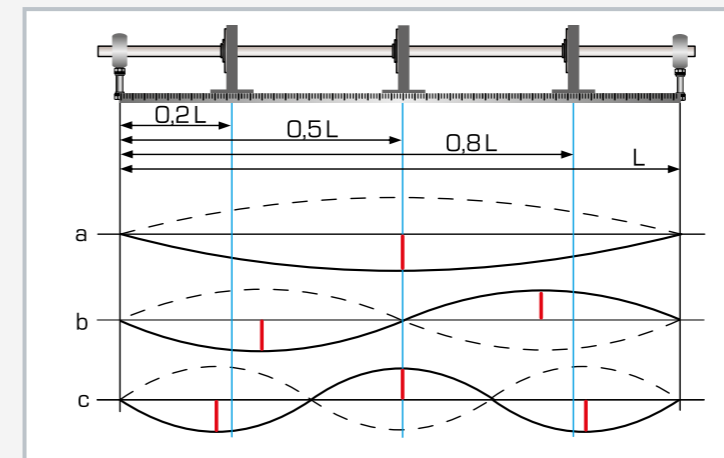
- étude d'un rotor de Laval
 - ▶ vitesse de rotation critique
 - ▶ auto-centrage
- modes propres sur un arbre avec affectation de masses continues avec
 - ▶ différentes distances entre les paliers
 - ▶ différents diamètres de l'arbre
 - ▶ différentes longueurs de l'arbre



1 armoire de commande, 2 moteur, 3 capteur de vitesse de rotation inductif, 4 accouplement élastique, 5 roulement à rotule sur billes, 6 palier d'arrêt, 7 capot de protection, 8 arbre, 9 disque de masse



Comportement de vibration d'un rotor de Laval: n vitesse de rotation, A amplitude, n_c vitesse de rotation critique avec résonance, zone hachurée: vitesse de rotation surcritique, zone hachurée en rouge: vitesse de rotation surcritique avec auto-centrage



Modes propres d'un arbre avec affectation continue de masses: a) 1^{er} mode propre, b) 2^e mode propre, c) 3^e mode propre; en rouge: amplitude de la vibration, en bleu: positionnement des paliers d'arrêt; L distance des paliers de l'arbre

Spécification

- [1] appareil d'essai servant à la détermination de vitesses de rotation critiques et à l'étude des modes propres d'un arbre
- [2] 6 arbres en acier haute résistance
- [3] jusqu'à 4 roulements à rotule sur billes pouvant être positionnés à l'endroit voulu pour logement de l'arbre
- [4] 1 masse servant à la construction d'un rotor de Laval
- [5] 3 paliers d'arrêt et capot transparent pour un fonctionnement sûr
- [6] moteur triphasé: 2 plages de vitesse de rotation présélectionnables et commutables, vitesse de rotation régulée électroniquement et ajustable en continu
- [7] affichage numérique de la vitesse de rotation
- [8] système d'acquisition de données TM 620.20 disponible en option

Caractéristiques techniques

- 6 arbres de rotor
- Ø: 3mm, 6mm, 7mm
 - L: 600mm, 900mm
 - acier haute résistance

- Masse, en forme de disques
- Ø: 80mm
 - m: 965g
 - acier haute résistance

Moteur

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation max.: 6000min⁻¹
- vitesse de rotation régulée électroniquement

Palier de l'arbre

- 4x roulements à rotule sur billes
- 3x paliers d'arrêt

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...6000min⁻¹
- échelle de mesure des distances: 0...1000mm

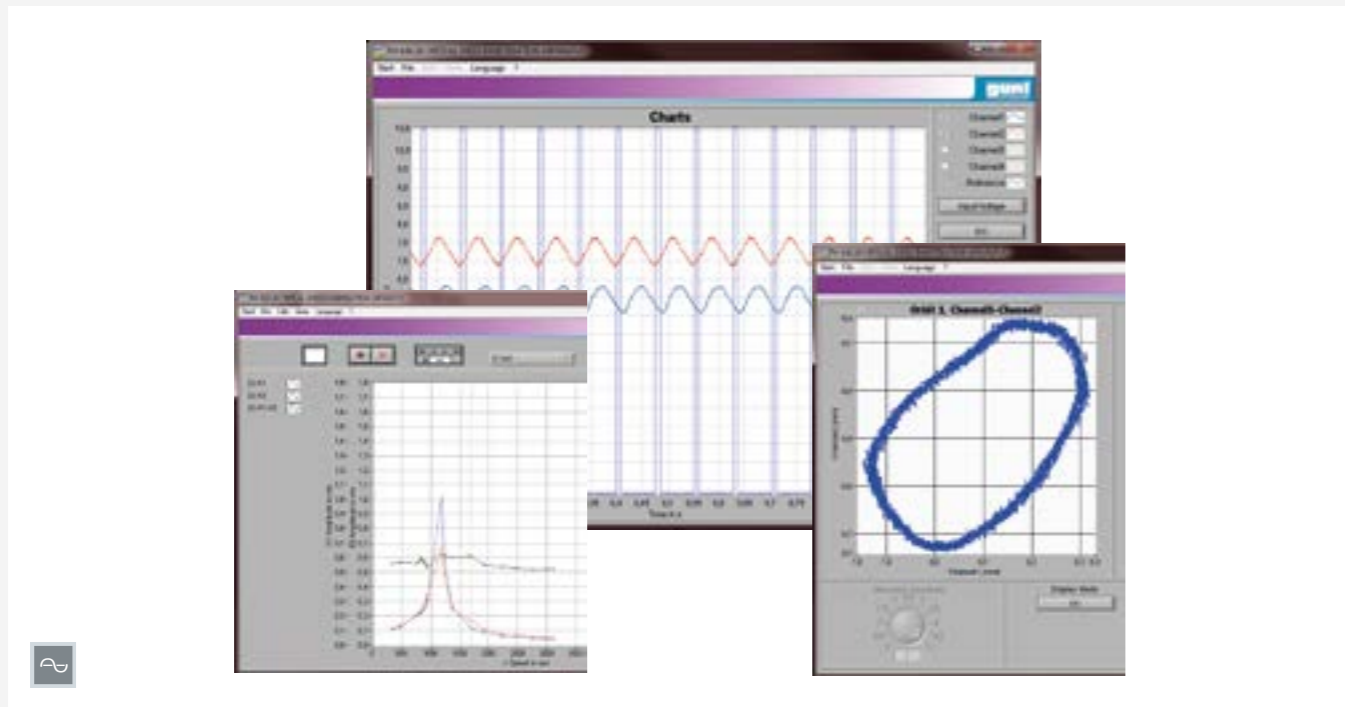
230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1550x380x450mm
Poids: env. 65kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 6 arbres
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

TM 620.20

Système d'acquisition de données



Description

- mesure et représentation des vibrations des arbres en fonction de la vitesse de rotation
- représentation d'un oscilloscope numérique
- adapté à tous les essais des appareils d'essai TM 620 et TM 625

Le système d'acquisition de données TM 620.20, utilisé comme accessoire avec les appareils d'essai TM 620 et TM 625, permet l'enregistrement et l'évaluation des vibrations. Ce système est constitué de deux capteurs de déplacement inductifs, d'un amplificateur de mesure, ainsi que d'un logiciel de traitement et de représentation des valeurs de mesure.

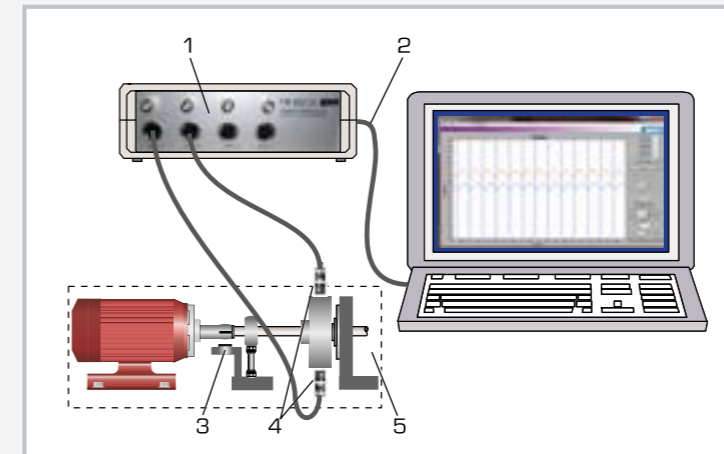
Les deux capteurs de déplacement mesurent sans contact la déviation des disques de masse rotatifs sur l'arbre élastique du TM 620 ou du TM 625. Les deux capteurs de déplacement peuvent varier dans leur position à l'autre.

En positionnant les capteurs de déplacement à la perpendiculaire l'un de l'autre (décalage de 90°), on peut représenter le mouvement de l'arbre sur un tour complet en tant qu'orbite. Avec la disposition sur deux disques de masse différents, on peut mesurer le mode propre de l'arbre vibrant. Son signal analogique est numérisé dans l'amplificateur de mesure et transmis à un PC via une connexion USB. Le logiciel GUNT fourni permet, au choix, de représenter soit la courbe des signaux dans le temps dans l'oscilloscope, soit celle des amplitudes en fonction de la vitesse de rotation.

L'alimentation électrique des capteurs de déplacement est assurée par l'amplificateur de mesure. Tous les raccords de câbles nécessaires sont fournis. Les essais sont expliqués dans la documentation didactique de TM 620 et TM 625.

Contenu didactique/essais

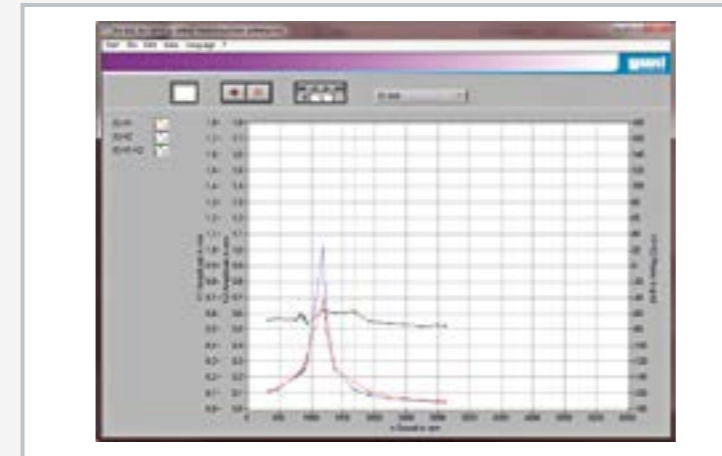
- en combinaison avec l'appareil d'essai TM 620 ou TM 625, il est possible de couvrir les contenus didactiques suivants:
 - ▶ étude et représentation de l'amplitude de vibration d'un arbre rotatif
 - ▶ enregistrement de l'évolution de la courbe des signaux dans le temps
 - ▶ étude de la dépendance de l'amplitude à la vitesse de rotation et au lieu
 - ▶ représentation de l'orbite



1 amplificateur de mesure et convertisseur A/N, 2 sortie USB vers le PC, 3 capteur de vitesse de rotation, 4 capteurs de déplacement inductifs, 5 appareil d'essai TM 620



Technologie de capteurs: capteurs de déplacement inductifs



Capture d'écran du logiciel: représentation de l'amplitude en fonction de la vitesse de rotation

Spécification

- [1] acquisition de données et évaluation des vibrations des arbres pour le TM 620 et le TM 625
- [2] 2 capteurs de déplacement inductifs sans contact
- [3] amplificateur de mesure et convertisseur A/N pour le traitement du signal
- [4] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

- 2 capteurs de déplacement
- principe de mesure: inductif, sans contact
 - signal de sortie: analogique 1...9V
 - distance de mesure: 5...10mm
 - vitesse de mesure: 1,5mm/ms

Amplificateur de mesure

- 4 canaux d'entrée
- 4 canaux de sortie analogiques via BNC
- convertisseur A/N
- signal de sortie par USB

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxIxh: 230x200x80mm
Poids: env. 2kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 2 capteurs de déplacement
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu de câbles
- 1 notice

TM 170

Appareil d'équilibrage



Description

- représentation des étapes fondamentales de la procédure d'équilibrage
- balourd statique et balourd dynamique

Sur les machines rotatives, les balourds sont souvent à l'origine de vibrations et bruits gênants. Lors d'un balourd, l'axe principal d'inertie ou le centre de gravité de la pièce rotative de la machine est en dehors de son axe de rotation. L'ajout ou le retrait de masses permet de déplacer le centre de gravité, ou l'axe principal d'inertie, de manière à ce que les deux axes correspondent avec l'axe de rotation. Ce procédé est appelé équilibrage. La pièce de la machine est alors équilibrée et fonctionne sans vibration.

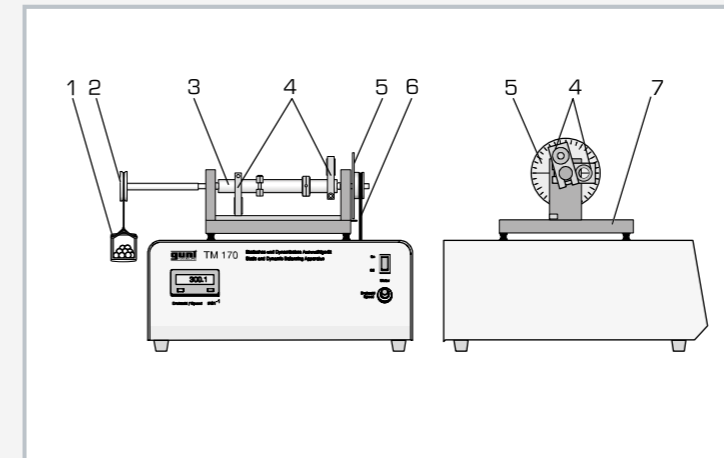
À l'aide de l'appareil d'essai TM 170, on peut démontrer de manière explicite le balourd et le procédé d'équilibrage. La différence entre un balourd statique et un balourd dynamique peut être montrée. Les balourds peuvent être déterminés et équilibrés par le biais de mesures adéquates.

L'élément principal de l'appareil d'essai est un arbre lisse sur lequel on peut fixer quatre masses de balourd variables, dans les positions angulaires et axiales que l'on souhaite. L'arbre est monté sur un roulement à billes. L'entraînement est assuré par un moteur électrique à vitesse de rotation variable et une courroie. La vitesse de rotation de l'arbre est affichée numériquement.

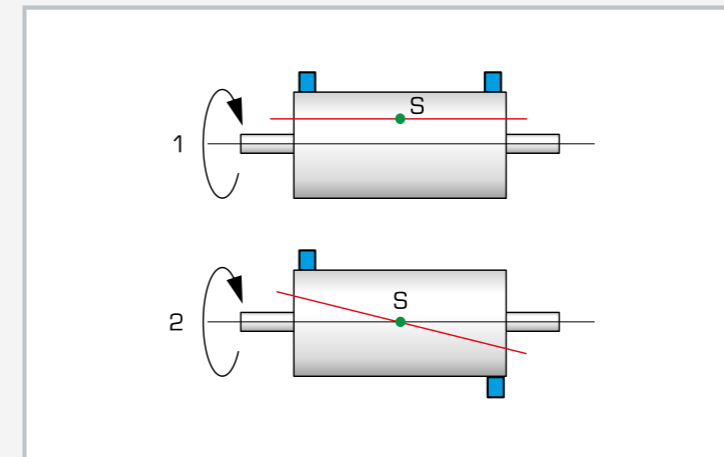
Pour déterminer le balourd, on applique un moment externe défini par le biais d'une poulie de courroies supplémentaire avec des poids. Ce moment est comparé au moment des masses de balourd. Un capot transparent protège l'accès aux pièces rotatives et permet de bien voir l'arbre. Le palier élastique de la fondation permet d'éviter les vibrations indésirables.

Contenu didactique/essais

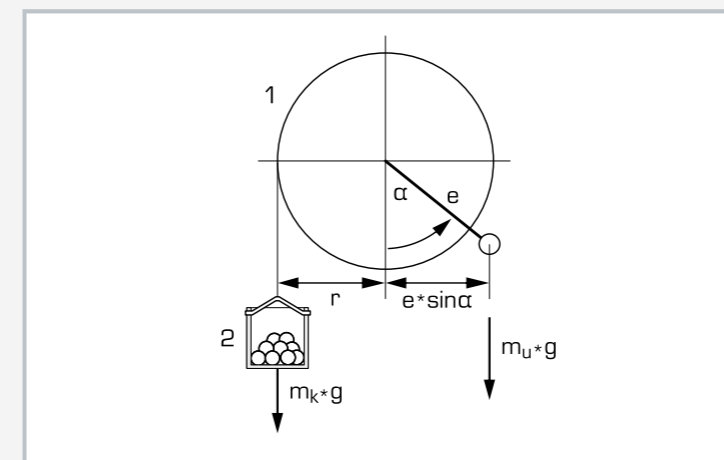
- démonstration des vibrations dues au balourd à des vitesses de rotation différentes
- comparaison d'un balourd statique, dynamique ou général
- détermination d'un balourd
- réalisation d'une procédure d'équilibrage



1 poids variable, 2 poulie de courroies, 3 arbre, 4 masses de balourd, 5 échelle d'angle, 6 courroie d'entraînement, 7 fondation pour palier élastique



1 balourd statique, 2 balourd dynamique; S centre de gravité; en bleu: distribution de la masse, en rouge: axe principal d'inertie



Détermination des balourds: 1 poulie de courroies, 2 poids variable, r rayon, e excentricité, α angle de la déviation, m_b masse de balourd, g accélération de la pesanteur, m_k masse du poids variable

Spécification

- [1] démonstration de balourd statiques et dynamiques
- [2] détermination des balourds
- [3] étapes de la procédure d'équilibrage
- [4] capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé
- [5] fondation avec palier élastique
- [6] échelle intégrée de mesure des angles et des longueurs
- [7] affichage numérique de la vitesse de rotation

Caractéristiques techniques

Nombre de masses de balourd: 4
Balourd total maximum: 880cmg

Plages de mesure
■ vitesse de rotation: 0...1400min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 420x400x380mm
Poids: env. 26kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

PT 502

Équilibrage sur site



L'illustration montre le PT 502 sans capot de protection.

Description

- mesure des vibrations dues au balourd
- équilibrage sur un et deux plans

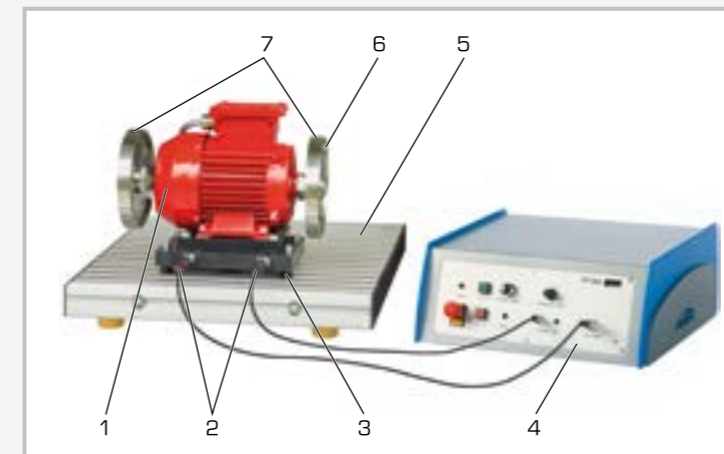
Sur les machines rotatives telles que les turbines ou les pompes, les vibrations dues au balourd limitent le confort et peuvent même entraîner des dommages dus à une sollicitation excessive. Le balourd d'une pièce rotative d'une machine peut provoquer des vibrations néfastes dans toute la machine. Un exemple courant est celui des pneus de voiture non équilibrés. Cela provoque des vibrations gênantes et désagréables de la direction. C'est la raison pour laquelle la quasi-totalité des pièces rotatives sont soumises à un équilibrage. Lorsque cet équilibrage n'a pas lieu dans une machine spécifique, mais directement sur place sur la machine en fonctionnement, on parle d'équilibrage sur site. L'équilibrage sur site s'effectue en quatre étapes. Dans un premier temps, on mesure les vibrations avec le balourd d'origine. Puis dans un deuxième temps, on rajoute des balourds test connus, et on mesure à nouveau. La troisième étape consiste à calculer et installer l'équilibrage à partir des deux mesures. Dans un quatrième temps, on vérifie le bon équilibrage en effectuant une marche d'essai.

Le PT 502 est constitué pour l'essentiel de deux masses d'inertie entraînées par un moteur électrique. Des balourds définis peuvent être installés sur les masses d'inertie. Deux capteurs d'accélération positionnés au pied du moteur mesurent les vibrations dues au balourd. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur optique. Le moteur est monté sur la plaque de base, sur des éléments en caoutchouc, qui amortissent les vibrations. L'entraînement est assuré avec une vitesse de rotation variable, par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence.

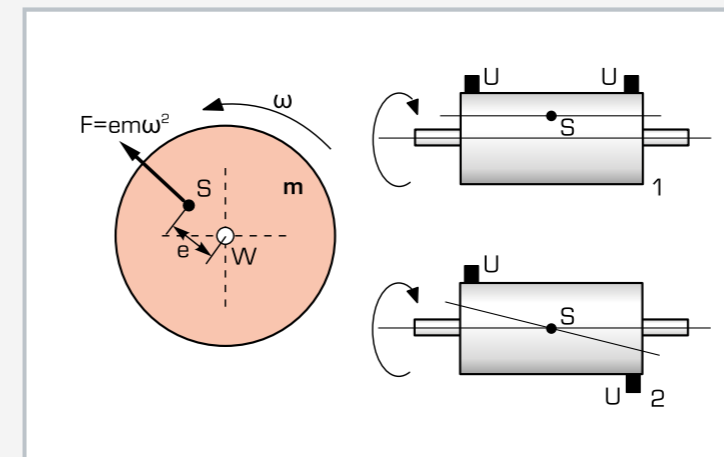
Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel d'analyse présente les caractéristiques suivantes: oscilloscope à deux canaux pour études sur la plage de temps, analyseur de spectres à deux canaux pour études sur la plage de fréquence, appareil de mesure de l'intensité des vibrations et module d'équilibrage pour équilibrages sur un et deux plans.

Contenu didactique/essais

- mesure et évaluation des vibrations au niveau de la machine
- apparition de vibrations dues au balourd
- balourd statique, dynamique ou général
- influence de la position et de la taille du balourd sur la vibration due au balourd
- principes de base de l'équilibrage
- équilibrage sur site sur un plan
- équilibrage sur site sur deux plans
- évaluation de la qualité de l'équilibrage
- utilisation d'un appareil d'analyse des vibrations assisté par ordinateur



1 moteur, 2 capteur d'accélération, 3 palier élastique, 4 appareil de commande, 5 plaque de base, 6 masse d'équilibrage, 7 masse d'inertie



À gauche: force de balourd F par excentricité e du centre de gravité S ; 1 balourd statique avec centre de gravité excentrique, 2 balourd dynamique avec axe d'inertie incliné; m masse, U balourd, W axe de rotation, ω vitesse angulaire



Équilibrage sur deux plans à l'aide du logiciel GUNT d'analyse des vibrations

Spécification

- [1] équilibrage sur site dans un ou deux plans
- [2] 2 masses d'inertie avec trous de fixation pour les masses de balourd et d'équilibrage et graduation angulaire
- [3] masses de balourd et d'équilibrage de différentes tailles
- [4] entraînement avec vitesse de rotation variable par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence
- [5] montage élastique du moteur d'entraînement
- [6] isolation vibratoire de la plaque de base grâce aux pieds en caoutchouc
- [7] appareil de commande avec amplificateur de mesure intégré
- [8] instruments: capteur de vitesse optique, 2 capteurs d'accélération pour la mesure des vibrations
- [9] fonctions logicielles: oscilloscope à 2 canaux, analyseur FFT à 2 canaux, courbe d'accélération, analyse d'ordre et équilibrage
- [10] logiciel GUNT d'analyse des vibrations sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

- Masses d'inertie
- 2x masse: 1,675kg
 - rayon pour masse d'équilibrage: 60mm
 - graduation angulaire: 15°
- Moteur d'entraînement
- vitesse de rotation: 100...3000min⁻¹
 - puissance: 370W
- Masses de balourd et d'équilibrage
- 2...10g
 - balourd total max.: 2x 42cmg
- Capteur d'accélération
- plage de fréquence: 1...10000Hz
 - sensibilité: 100mV/g
 - fréquence de résonance: 32kHz
- Capteur de vitesse optique
- plage de détection: 3...150mm
 - laser classe II: 675nm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxhx: 510x400x330mm [appareil d'essai]
Lxhx: 420x400x180mm [Bediengerät]
Poids: env. 25kg [total]

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil de commande
- 1 jeu d'accessoires
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

TM 180

Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif



Description

- étude des forces et moments d'inertie sur un moteur à piston alternatif
- ajustage en continu de l'angle de calage des manivelles
- simulation de moteurs à un, deux ou quatre cylindres

Tout moteur à piston alternatif produit des forces de masse. Tandis que les forces de masse des masses en rotation peuvent être facilement équilibrées, les forces de masse des masses oscillantes ne peuvent pas être complètement équilibrées. L'utilisation de plusieurs cylindres permet un équilibrage réciproque des forces, mais peut générer des moments d'inertie perturbateurs.

L'appareil d'essai TM 180 permet d'étudier les forces et moments d'inertie en utilisant un moteur à piston alternatif avec un, deux ou quatre cylindres.

Le modèle de moteur dispose de pistons avec des douilles coulissantes en plastique; ces pistons n'ont pas besoin d'être lubrifiés. Pour chaque cylindre, l'angle de calage des manivelles est ajustable en continu, et des marquages à 0°, 90°, 180° et 270° aident à se repérer.

On peut modifier les masses oscillantes en plaçant des poids supplémentaires sur le piston. L'arbre de manivelle à quatre coudes est entraîné par un moteur via une courroie dentée. La vitesse de rotation est réglée électroniquement et affichée numériquement. Les forces et moments d'inertie sont enregistrés électroniquement par des capteurs de force au niveau du palier du modèle. L'appareil d'affichage et de commande intègre toutes les fonctions électriques et dispose également d'une interface USB pour l'acquisition des données.

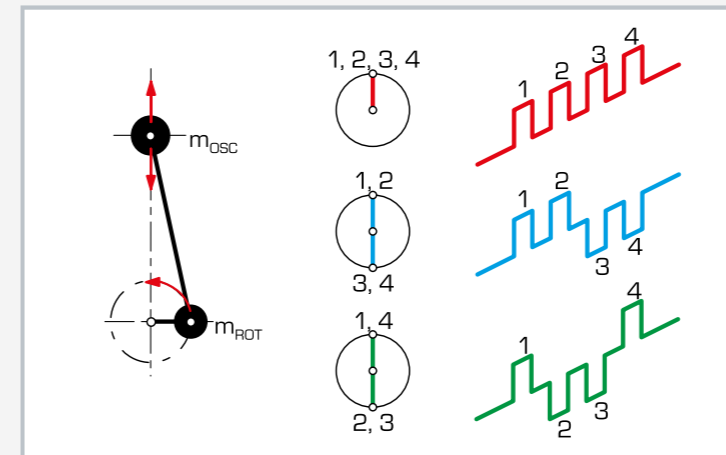
Le logiciel GUNT permet l'analyse détaillée des signaux des forces et des moments.

Contenu didactique/essais

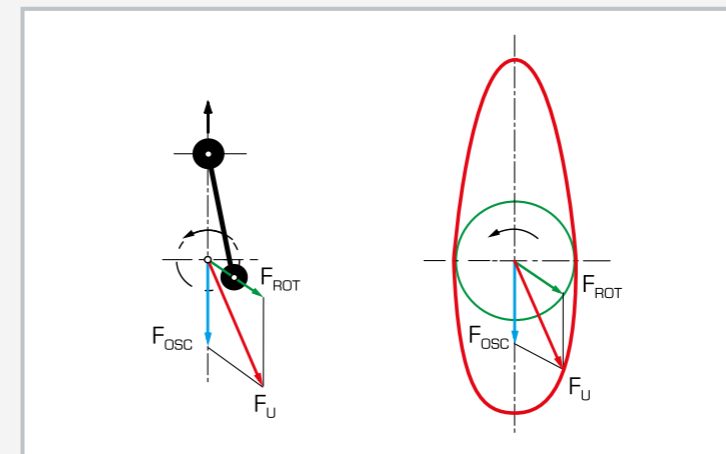
- effet des forces de masse
 - ▶ dépendance des forces de masse à la vitesse de rotation
 - ▶ dépendance des forces de masse à la masse du piston
 - ▶ forces de masse de 1^{er} et de 2^e ordre
- comparaison entre différents mécanismes bielle-manivelle
 - ▶ quatre cylindres, symétrique, angle de calage des manivelles de 180°
 - ▶ quatre cylindres, asymétrique, angle de calage des manivelles de 90°
 - ▶ deux cylindres, angle de calage des manivelles de 180°
 - ▶ un cylindre



1 cylindre, 2 piston, 3 angle de calage des manivelles, 4 plaque de fondation, 5 appareil d'affichage et de commande, 6 capteur de force, 7 moteur d'entraînement



À gauche: définition des masses en rotation (m_{ROT}) et des masses oscillantes (m_{OSC}) sur le mécanisme bielle-manivelle, à droite: configurations possibles de l'angle de calage des manivelles: en rouge: un cylindre, en bleu: deux cylindres, en vert: quatre cylindres



À gauche: effet des forces de masse oscillantes (en bleu, F_{OSC}) et en rotation (en vert, F_{ROT}) et leur somme vectorielle par rapport à la force d'inertie (en rouge, F_U).
À droite: tracé des forces de masse en fonction de la rotation d'un vilebrequin

Spécification

- [1] appareil d'essai pour l'étude de forces oscillantes et en rotation sur un moteur à piston alternatif à 4 cylindres maximum
- [2] simulation de moteurs à un, deux ou quatre cylindres
- [3] moteur d'entraînement à commutation électronique et à régulation de vitesse de rotation avec affichage numérique de la vitesse de rotation
- [4] ajustage en continu de l'angle de calage des manivelles
- [5] mesure des forces et des moments avec des capteurs de force
- [6] isolation des oscillations au moyen d'éléments en caoutchouc et d'une syntonisation basse
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Moteur à piston alternatif

- nombre de cylindres: 4
- masse du piston: 40g
- masse supplémentaire: 41g

Mécanisme bielle-manivelle

- masse de la bielle: 18g
- distance du milieu du cylindre: 35mm
- rayon de la manivelle: 15mm
- longueur de la bielle: 70mm

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 100...3000min⁻¹
- force: 0...500N

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 420x370x350mm
Poids: env. 40kg
Lxlxh: 230x230x80mm (appareil d'affichage et de commande)
Poids: env. 1kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 modèle de moteur
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu d'accessoires (outillage, masses supplémentaires)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

GL 112

Étude des commandes à came



Description

- enregistrement de courbes de levée de mécanismes à cames
- quatre corps de came différents, deux éléments suiveurs différents
- influence de la rigidité de ressort et de la masse sur le comportement dynamique

En génie mécanique, les commandes à came jouent un rôle important pour la transformation du mouvement rotatif en mouvement oscillant. Les commandes à came sont le plus souvent utilisées pour l'actionnement des soupapes dans la construction de moteurs. Ce cas d'application est hautement dynamique: les soupapes doivent s'ouvrir et se refermer dans un délai extrêmement court. Le contact entre la soupape et un ergot (corps de came) ne doit jamais être rompu, faute de quoi des vibrations incontrôlées, appelées affolement de soupapes, peuvent se produire et endommager éventuellement le moteur.

L'appareil d'essai GL 112 permet l'étude dynamique d'une commande à came à différentes vitesses de rotation. On compare le comportement de déplacement de quatre corps de came classiques en forme d'ergots avec éléments suiveurs adaptés.

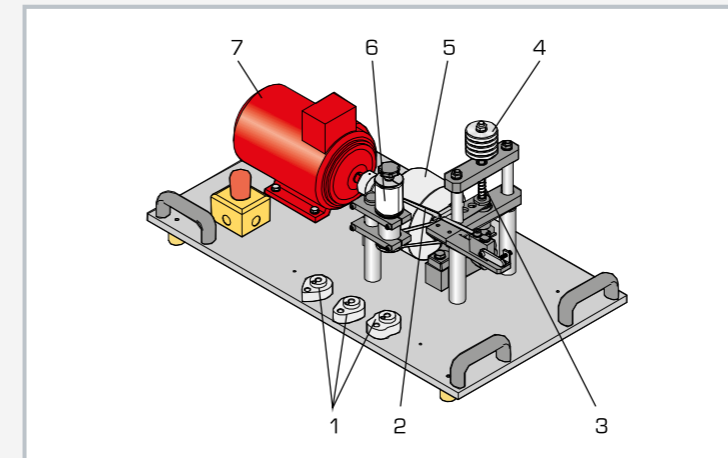
Une masse et un ressort simulent la soupape. En variant la rigidité de ressort, la précontrainte du ressort et la masse oscillante, on peut étudier les limites dynamiques de chacun des corps de came. Le processus de déplacement ainsi que la levée des corps de came peuvent être montrés de manière très claire à l'aide d'un stroboscope (non compris dans la liste de livraison).

Un dispositif d'écriture synchronisé avec le corps de came trace la courbe de levée réelle de la commande à came. Un moteur d'entraînement à régulation de vitesse de rotation ayant une masse d'inertie élevée génère une vitesse de rotation aussi constante que possible. La forme de construction ouverte permet d'observer tous les détails des mouvements. Un capot de protection transparent assure un fonctionnement sécurisé.

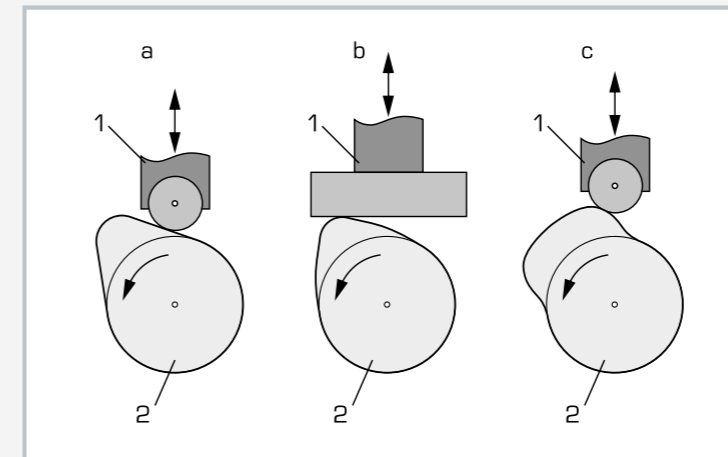
L'appareil d'essai a été conçu à des fins de démonstration pour la formation technique. Il ne convient pas à une utilisation comme banc de test dans le domaine des essais d'endurance/de tribologie.

Contenu didactique/essais

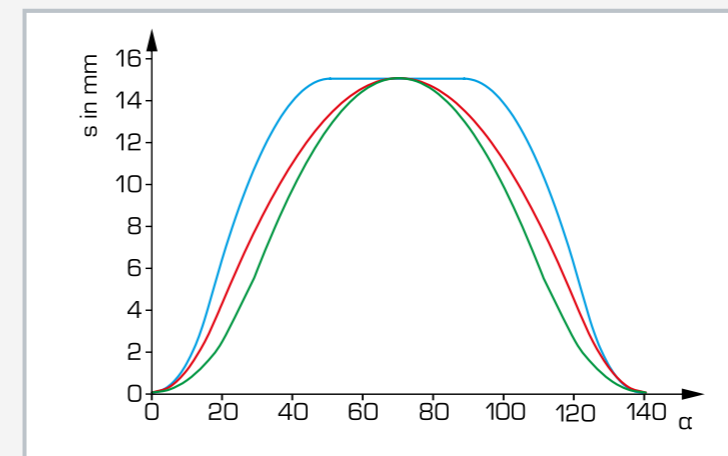
- courbes de levée pour un élément suiveur non adapté
- courbe de levée pour un élément suiveur sautant
- détermination de la vitesse de rotation limite et comparaison avec la théorie
- influence de la masse en mouvement sur le mouvement du corps de came / poussoir
- influence de la rigidité du ressort de rappel et de la précontrainte sur le mouvement du corps de came / poussoir
- comparaison des courbes de levée de différentes formes de cames
- comparaison des courbes de levée avec la théorie



1 corps de came en forme d'ergots échangeables, 2 plume d'écriture, 3 ressort, 4 disques de masse, 5 masse d'inertie, 6 tambour, 7 moteur d'entraînement



1 élément suiveur (élément rond avec poussoir ou élément plat avec poussoir), 2 corps de came en forme d'ergots; a came tangentielle avec poussoir rond, b came en arc de cercle avec poussoir plat, c came creuse avec poussoir rond



Courbes de levée; s course, α angle d'ouverture; en bleu: came creuse, en rouge: came en arc de cercle, en vert: came tangentielle

Spécification

- [1] étude de commandes à came
- [2] corps de came: came tangentielle, came creuse, 2 cames en arc de cercle avec rayon de tête différent
- [3] 2 éléments suiveurs différents: élément plat avec poussoir ou élément rond avec poussoir
- [4] 3 ressorts de rappel échangeables et précontrainte du ressort
- [5] moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable
- [6] la masse oscillante peut être augmentée avec 5 poids supplémentaires
- [7] traceur à tambour mécanique avec plume d'écriture et papier couché
- [8] capteur de vitesse optique
- [9] capot de protection transparent pour un fonctionnement sécurisé

Caractéristiques techniques

Moteur d'entraînement

- moteur asynchrone triphasé avec convertisseur de fréquence
- puissance: 250W
- vitesse de rotation: 60...670min⁻¹

Corps de came en forme d'ergots

- course respective: 15mm
- angle d'ouverture respectif: 140°

Rigidité de ressort

- dure: 5,026N/m
- moyenne: 2,601N/m
- souple: 613N/m

Masses

- poids supplémentaire: 200g
- poussoir: 530g
- élément plat: 93g
- élément rond: 20g

Traceur: transmission à courroie dentée

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 800x440x440mm (système de rangement)

Lxlxh: 360x320x160mm (appareil d'affichage et de commande)

Poids: env. 68kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 4 corps de came en forme d'ergots
- 2 éléments suiveurs
- 3 ressorts de rappel
- 3 blocs de papier
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

TM 182**Vibrations sur les fondations de machines****Description****■ génération de vibrations par des balourds**

En construction mécanique, la réduction des vibrations est essentielle. Ainsi par exemple, une installation avec isolation vibratoire élastique de la machine permet d'empêcher la transmission de vibrations gênantes pour l'environnement.

Avec le TM 182, on étudie les problèmes liés aux fondations et à l'isolation vibratoire à travers un exemple pratique. À cet effet, des vibrations sont produites de manière ciblée sur une machine installée sur ressorts, puis l'on mesure leur transmission sur la fondation. Divers accords peuvent ensuite être testés avec différents ressorts, et les effets d'absorption étudiés à l'aide d'absorbeurs de vibrations.

Le montage expérimental est constitué de la machine, de la fondation et du bâti. Un générateur de vibrations fait office de machine; il est composé de deux balourds entraînés séparément. Les balourds sont entraînés par des servomoteurs de manière à générer les forces d'excitation et les directions de forces souhaitées.

Un compresseur à piston (TM 182.01) peut également être utilisé pour produire les vibrations. La machine est installée sur une fondation via des ressorts et des amortisseurs. La fondation représente l'environnement; on y mesure l'efficacité de l'isolation vibratoire.

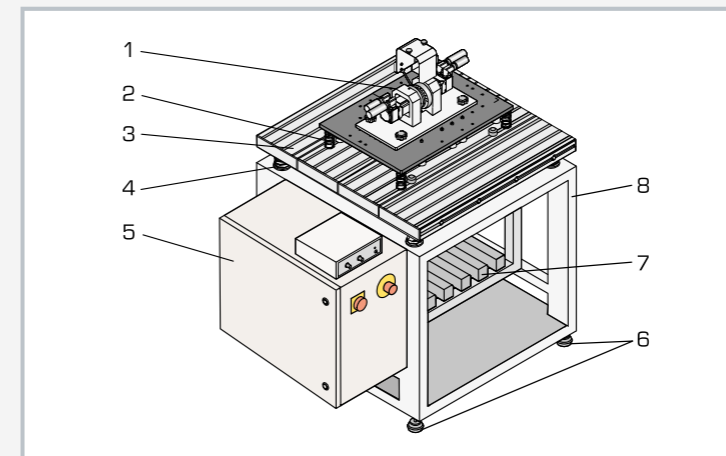
Des ressorts hélicoïdaux supplémentaires relient la fondation au bâti proprement dit du banc d'essai. Cette double isolation vibratoire, associée au poids propre élevé de la fondation, garantit un fonctionnement sans vibrations dans le laboratoire, et ce même dans des conditions d'essai défavorables. Une armoire de commande est installée sur le bâti; elle abrite la commande, l'alimentation en énergie et le dispositif d'acquisition de données.

La déviation, la vitesse et l'accélération des vibrations sont mesurées en différents points au moyen de capteurs d'accélération. Ces valeurs de mesure permettent de calculer et de représenter les formes des vibrations de fonctionnement.

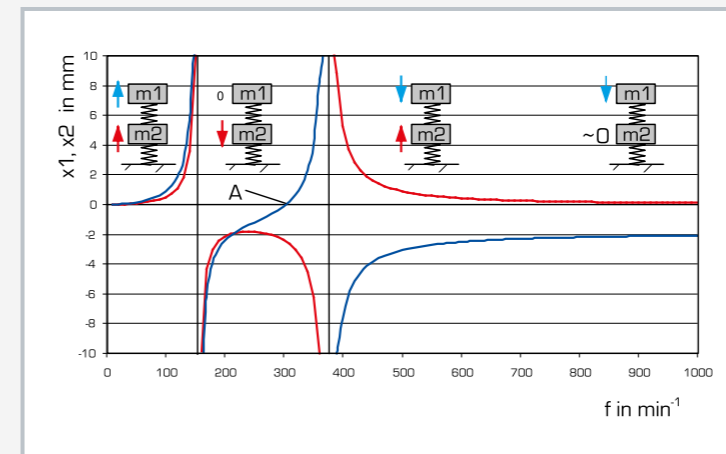
Un logiciel très complet est à disposition pour la commande des états de fonctionnement, et pour l'acquisition et l'évaluation des données. La liaison avec le PC est assurée par une connexion USB.

Contenu didactique/essais

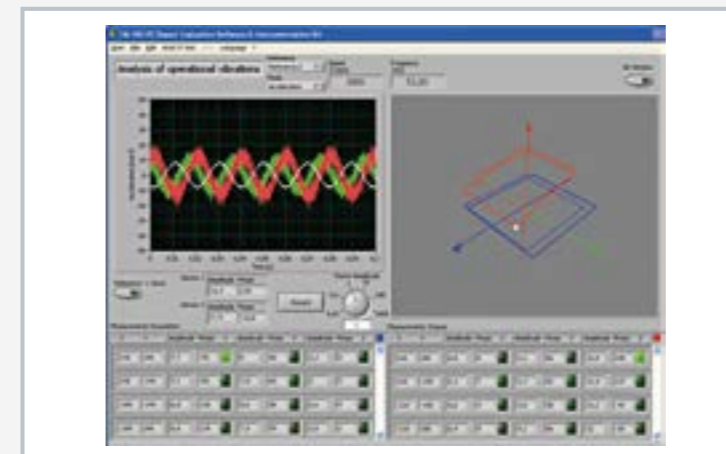
- introduction aux phénomènes vibratoires sur les fondations de machines
- accord de la fondation pour différentes forces excitatrices
- étude de l'absorbeur de vibrations
- étude de l'influence d'un amortissement supplémentaire
- comparaison entre les ressorts en métal et les ressorts en caoutchouc
- mesure et évaluation des vibrations
- détermination des formes de vibration de fonctionnement



1 générateur de vibrations comme machine, 2 ressorts hélicoïdaux, 3 fondation, 4 ressort hélicoïdal, 5 armoire de commande, 6 paliers élastiques, 7 masses supplémentaires pour la fondation, 8 bâti



Courbe amplitude-fréquence avec excitation à balourd et effet des absorbeurs de vibrations m: masse, amplitude bleue x1: masse 1, amplitude rouge x2: masse 2, A: point d'absorption



Capture d'écran du logiciel: mesure et représentation de formes de vibration de fonctionnement

Spécification

- [1] représentation et étude de vibrations sur les fondations de machines
- [2] le générateur de vibrations génère des vibrations par le biais d'un balourd
- [3] fonctionnement sans vibrations dans le laboratoire grâce à une isolation supplémentaire de la fondation contre les vibrations
- [4] 2 servomoteurs haute puissance sans balais comme entraînement du générateur de vibrations excentricité, fréquence de rotation, direction de rotation, position de phase et rapport de fréquence ajustables
- [5] disposition variable d'absorbeurs de vibrations pour l'absorption des vibrations
- [7] mesure des vibrations avec un capteur d'accélération
- [8] un capteur de déplacement inductif enregistre l'excentricité des masses de balourd
- [9] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
- [10] compresseur à piston TM 182.01 comme alternative de générateur de vibrations "réel"

Caractéristiques techniques

Moteurs d'entraînement

- vitesse de rotation max.: 6000min⁻¹
- couple max.: env. 3,40Nm

"Machine" montée sur une plaque

- masse: max. 26kg (y compris poids supplémentaires 4x 2kg)
- balourd max.: 2x 500cmg
- force de balourd max.: 2x 500N (jusqu'à 3000min⁻¹)

Fondation

- masse: max. 73kg (y compris poids supplémentaires 5x 9,4kg)
- fréquence propre min.: 2,66Hz

Ressorts de compression

- rigidité de ressort C: 2,44N/mm...139,53N/mm
- rigidité transversale Cq: 0,30N/mm...90,0N/mm

Plages de mesure

- accélération: 490m/s²

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

LxHxP: 1140x800x1170mm

Poids: env. 311kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 générateur de vibrations
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

TM 182.01

Compresseur à piston pour TM 182



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai TM 182
 - ▶ production de vibrations avec une "machine réelle" sur des fondations de machines

Spécification

- [1] compresseur à piston monocylindre refroidi par air à monter dans le banc d'essai TM 182
- [2] compresseur à piston comme générateur de vibrations
- [3] simulation des vibrations d'une machine par un générateur de vibrations
- [4] vitesse de rotation ajustable via un variateur de fréquence

Caractéristiques techniques

Compresseur à piston monocylindre refroidi par air avec variateur de fréquence

- masse: 16kg
- vitesse de rotation: 500...1800min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 420x300x300mm
Poids: env. 22kg

Liste de livraison

- 1 compresseur à piston avec variateur de fréquence
- 1 notice

Description

- un compresseur à piston comme "machine réelle" produit les vibrations pour le banc d'essai TM 182

Un compresseur à piston est typique une machine sur laquelle les balourds et les masses oscillantes génèrent des vibrations. La réduction des vibrations obtenues par un équilibrage de la "machine" est insuffisante. Une fondation à isolation antivibratile permet dans ce cas d'éviter la transmission des vibrations indésirables à l'environnement.

Le compresseur à piston TM 182.01 sert de modèle de "machine réelle" pour le banc d'essai TM 182. Le compresseur à piston est utilisé uniquement comme "machine" produisant des vibrations sur la fondation. La fonction de production d'air comprimé n'est pas utilisée.

Le TM 182.01 est disponible comme unité complète et se compose d'un compresseur monocylindre à moteur intégré. Le compresseur à piston est équipé d'un variateur de fréquence qui permet de générer des vibrations à différentes fréquences.

Une installation et une mise en service



Sans faille vous sont garanties par l'expertise des collaborateurs de GUNT

Assurez-vous qu'un personnel compétent se charge de la mise en service de vos nouveaux équipements. Nos collaborateurs mettent volontiers leurs expertise à votre service.

La mise en service des équipements inclut les prestations suivantes:

- montage des équipements dans le laboratoire
- raccord aux systèmes d'alimentation du laboratoire
- mise en service des appareils
- marche d'essai des appareils

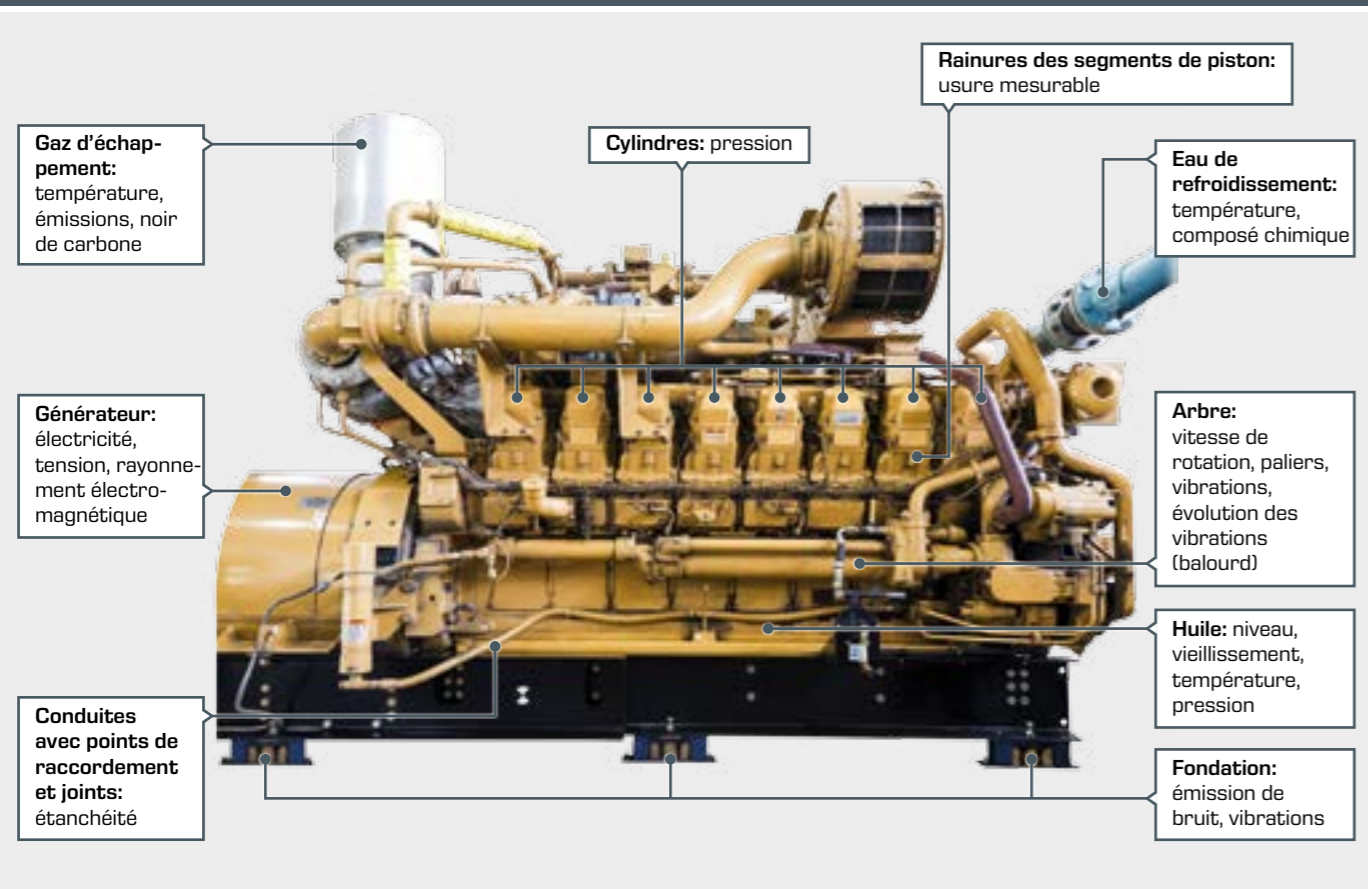
Diagnostic de machines

L'objectif du diagnostic de machine, également appelé surveillance de l'état des machines ou en anglais CMS (Condition Monitoring System), consiste à réaliser une maintenance ou une remise en état adaptée aux besoins, afin de minimiser les temps de réparation et d'arrêt d'une machine. Les dommages doivent

être détectés dès leur apparition. Cela permet d'augmenter le taux de rendement global (OEE Overall Equipment Effectiveness), qui est indicateur de création de valeur d'une installation, et d'optimiser la structure des coûts.

Qu'est-ce qui caractérise l'état d'une machine?

Exemple de grandeurs d'état mesurables sur un générateur diesel:



Le diagnostic de machine sert à

- analyser les points faibles, pour optimiser un processus ou identifier en amont les évolutions défavorables prévisibles
- effectuer une maintenance en phase avec l'état de la machine; il s'agit par exemple de remplacer les pneus d'une voiture lorsque leurs profils ont une épaisseur inférieure à la valeur minimum prescrite
- éviter ou minimiser les pannes par le biais d'opérations de maintenance prédéfinies; exemple: vidange d'huile à intervalles fixes ou après un kilométrage déterminé des véhicules

Le diagnostic de machine est réalisé sur

une machine à l'arrêt en effectuant:

- un démontage et un contrôle visuel
- une mesure de l'usure
- des essais de fissuration (radio, ultrasons, courants magnétiques, mesure de la fréquence propre)

Le diagnostic de machine permet

- d'augmenter et optimiser l'exploitation de la durée de service des installations et des machines
- d'améliorer la sécurité de fonctionnement
- d'augmenter la disponibilité des installations
- d'optimiser les processus opérationnels
- de réduire les dysfonctionnements
- de diminuer les coûts

une machine en service en effectuant:

- une mesure des grandeurs d'état, p.ex. une mesure des vibrations
- une mesure acoustique
- un décalage de l'arbre
- une analyse des produits lubrifiants

La signification des vibrations dans le diagnostic de machine

On obtient une bonne évaluation de l'état mécanique d'une machine, ou des pièces de la machine, en étudiant le type et l'ampleur des vibrations qu'elle produit. À cet effet, les vibrations sont enregistrées et évaluées au moyen de capteurs et d'instru-

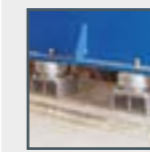
ments de mesure. Pour bien interpréter des signaux de mesure, il est essentiel de bien comprendre les mécanismes d'action et d'avoir une certaine expérience en la matière.

Origines des vibrations

1. Forces périphériques ou périodiques dues à

- une compression ou un poinçonnage
- des blocages ou des erreurs d'alignement

Exemples issus de la pratique pour le dépannage



Palier élastique avec amortissement des vibrations de la machine, afin de prévenir / minimiser la transmission des vibrations.

2. Forces d'inertie produites par des masses rotatives ou oscillantes

- mouvements de va-et-vient de pistons
- balourds rotatifs



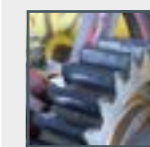
Les pneus sont équilibrés pour corriger les balourds.

3. Chocs

- jeu au niveau des zones de contact et surfaces adjacentes variables en cas de transmission de force mécanique
- perte de contact en cas de transmission de force par adhérence
- roulement sur des endroits défectueux de la surface



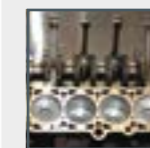
Les paliers précontraints permettent d'avoir un guidage des arbres encore plus exact, augmentent la rigidité et minimisent le jeu de palier.



Une bonne lubrification est essentielle pour minimiser l'endommagement des roues dentées, p.ex. dans les engrenages, et pour éviter l'apparition d'endroits défectueux à la surface.

4. Forces dues aux gaz

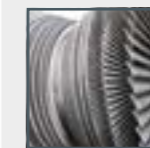
- déformation de la construction due à des forces dynamiques elles-mêmes dues aux gaz et à l'excitation de vibrations longitudinales et de flexions alternées
- rotation irrégulière et excitation de vibrations de torsion



Dans le carter de vilebrequin, on voit apparaître des forces qui sont dues à la transmission des forces elles-mêmes dues aux gaz de la tête de cylindre aux paliers des vilebrequins. Les carters de vilebrequin raidis et les vis flexibles évitent les vibrations et la fatigue du matériau.

5. Forces d'écoulement

- turbulences avec variations de pression sous la forme d'ondes de choc (bourdonnement, bruissement, sifflement) qui excitent des surfaces: le contraire étant le rayonnement sonore
- forces d'écoulement périodiques avec aubes mobiles



Lorsque l'on conçoit des rotors destinés p.ex. à des ventilateurs ou à des compresseurs, il faut tenir compte des vibrations qui peuvent éventuellement apparaître, pour définir le nombre et la forme des aubes mobiles.

6. Forces électromagnétiques

- champs magnétiques dynamiques ou modifications cycliques de la géométrie (faces polaires)
- similarité avec l'excitation par les variations de pression (vrombissement du transformateur, vibrations du stator sur un moteur)



Moteur asynchrone: en cas de lame d'air asymétrique, les forces magnétiques circulaires excitent des vibrations de rotation et des flexions alternées. En variant la lame d'air entre le stator et le rotor, il est possible de modifier les vibrations mécaniques produites.

Diagnostic de machines

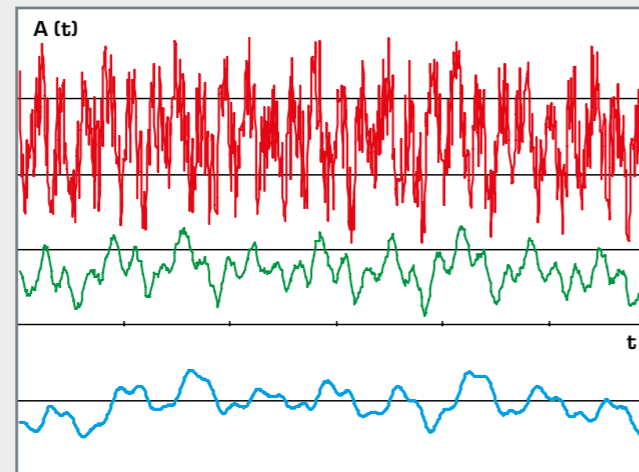
Méthode du diagnostic de machine

Pour le diagnostic de machine, il faut s'intéresser aux **forces et énergies internes** de la machine. Il est impossible de mesurer ces grandeurs directement, mais l'on peut mesurer leurs effets, c'est-à-dire les **vibrations**. Pour se faire une idée de ces forces, on utilise donc la mesure et l'analyse de ces forces. On peut déduire des mesures des vibrations la manière dont les forces sont structurées, ce qui les a provoquées, ainsi que leur évolution dans le temps. Les signaux de mesure sont le plus souvent des spectres de fréquence qui sont formés par la superposition

de différentes vibrations de fréquences différentes. Certaines de ces vibrations font partie intégrante du fonctionnement normal de la machine, d'autres sont renforcées ou même provoquées par des défauts. L'interprétation des signaux de mesure permet d'évaluer l'état de la machine et d'identifier un défaut éventuel.

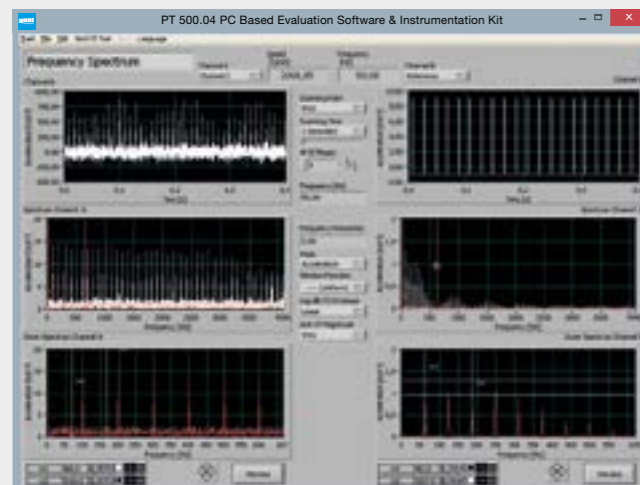
Concernant le diagnostic de machine, on distingue la **surveillance des valeurs caractéristiques** et l'**analyse des fréquences**.

Lors de la **surveillance des valeurs caractéristiques**, on compare l'amplitude du signal de vibration mesuré avec une valeur limite. La surveillance des valeurs caractéristiques peut s'effectuer de manière continue et automatique. Elle est facile à mettre en place, et l'utiliser demande peu de connaissances spécialisées. Une valeur caractéristique couramment utilisée est la valeur efficace de la vitesse de vibration sur la plage de fréquence comprise entre 10 et 1000 Hertz. Elle est utilisée dans la DIN ISO 10816-3, qui est applicable à la technique d'entraînement. Pour les groupes standards simples, la surveillance des valeurs caractéristiques suffit pour le diagnostic. Mais pour les installations plus complexes, la fiabilité de cette méthode n'est quelquefois pas suffisante.



Signaux typiques de vibration sur une plage de temps

— Accélération
— Vitesse
— Trajectoire



L'utilisation de l'**analyse sur la plage de fréquence** est nettement plus complexe, mais aussi plus performante. Cette analyse permet d'identifier le type de dommage, ce qui permet de mettre en place des mesures de réparation ciblées. La réalisation d'une analyse des fréquences requiert une bonne compréhension des mécanismes efficaces ainsi que de l'expérience pour être en mesure d'interpréter les résultats. La méthode d'analyse des fréquences est le plus souvent utilisée en complément de la surveillance des valeurs caractéristiques.

Contenus didactiques

Vibrations mécaniques	Origines, mécanismes de formation, balourd, rotor de Laval, résonance, amortissement, choc
Technique de mesure des vibrations	Capteur de mesure, amplificateur de mesure, représentation, oscilloscope, mesure de la vitesse de rotation
Analyse des vibrations	Accélération, vitesse des vibrations, trajet des vibrations, valeurs caractéristiques, représentation sur la plage de temps et de fréquence, spectre, FFT (Fast Fourier Transformation), ordres, analyse de suivi, analyse d'enveloppe, orbite, trajectoire
Diagnostic de machine	Vibrations des paliers et des arbres, intensité de vibration admissible, dommage des paliers à roulement, vibrations électromécaniques, vibrations dues au balourd et à l'équilibrage, dommages des engrenages, vibrations sur les entraînements par courroie, cavitation dans les pompes, vibrations des pales, vibrations et chocs dans les mécanismes bielle-manivelle, vibrations dépendantes de la vitesse de rotation

L'enseignement porte par ailleurs sur les aptitudes et expériences pratiques dans la manipulation et le montage des éléments de machine tels que paliers, arbres et accouplements. La construction des machines mécaniques est également étudiée.

Les problématiques posées permettent d'acquérir une expérience précieuse pour la pratique ultérieure dans l'industrie:

- quel capteur de mesure utiliser?
- où attendre un signal de mesure exploitable?
- comment masquer efficacement des signaux perturbateurs?

Endommagement des éléments d'entraînement, exemple des paliers



Parmi les signes d'endommagement des éléments d'entraînement, on peut avoir:

- des dépôts sur les surfaces de roulement, p.ex. corrosion de contact de l'orifice d'une bague intérieure
- corrosion due à l'humidité et à l'arrêt du palier
- altération de la surface prenant la forme de piqûres
- dommage sur les paliers en raison de glissements
- fissures ou éclats

Si les premiers signes d'endommagement de la machine sont ignorés, le dommage devient plus important et peut entraîner une rupture.

Diagnostic de machines

Résultats d'essai typiques en diagnostic de machine

1. Identification de dommages sur les paliers

Analyse d'enveloppe

L'analyse d'enveloppe est utilisée par exemple pour identifier des dommages sur les paliers à roulement et les engrenages. Les dommages provoquent des chocs ayant des parts de vibrations à très haute fréquence. La basse fréquence de choc à considé-

rer pour le diagnostic de dommages n'est pratiquement pas, ou même pas du tout, identifiable dans le spectre normal. L'analyse d'enveloppe démodule le signal de choc haute fréquence, et permet ainsi de mesurer la fréquence de choc.

Déroulement de l'analyse d'enveloppe

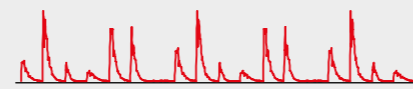
Mesure du signal de choc haute fréquence et du filtrage passe-haut pour atténuer les signaux perturbateurs à basse fréquence (balourd, erreur d'alignement)



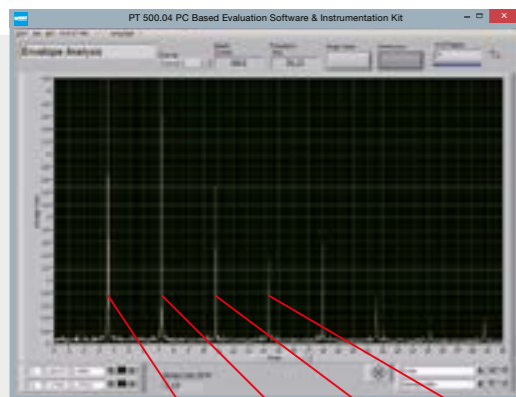
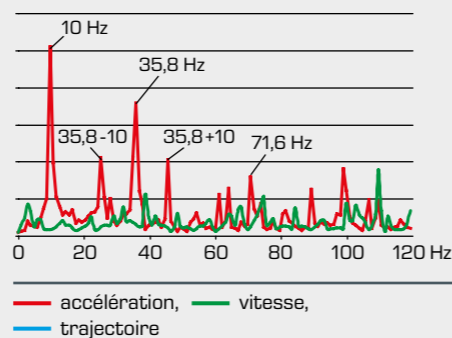
Redressement du signal haute fréquence



Génération de l'enveloppe du signal redressé par filtrage passe-bas



Réalisation d'une FFT pour l'obtention du spectre de l'enveloppe. La vitesse de rotation (10 Hz) et la fréquence de choc (35,8 Hz) sont clairement visibles. Les bandes latérales à distance de la vitesse de rotation (35,8 -10, 35,8 +10) montrent une modulation d'amplitude. Il s'agit d'un endommagement de la bague externe avec charge circulaire.



Ordres: 3,58 7,16 10,74 14,32

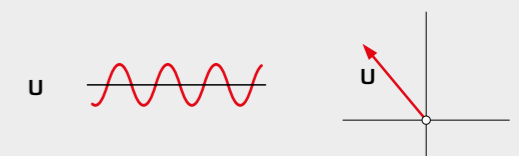
L'illustration montre le spectre de l'enveloppe d'un dommage typique sur les paliers. Pour obtenir une représentation indépendante de la fréquence de rotation, on a choisi l'ordre en abscisse. Un signal de fréquence de rotation est d'ordre 1. On lit des lignes de fréquence en prenant les multiples de l'ordre 3,58. Cela indique un dommage sur la bague externe du palier. Les lignes des bandes latérales manquantes à la distance d'un ordre suggèrent une direction constante de la force, ici la tension de courroie, et n'indiquent pas de charge de balourd.

2. Équilibrage sur site

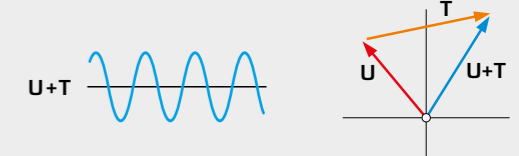
Lorsque l'on effectue un équilibrage, on essaye de réaligner le centre de gravité du rotor sur son axe de rotation. À cet effet, on ajoute ou on retire des masses du rotor. Pour pouvoir déterminer la position et la taille des masses d'équilibrage requises,

on doit d'abord connaître le balourd. Étant donné qu'on ne peut pas mesurer directement un balourd, il faut le déduire de manière indirecte des vibrations de paliers qui, elles, sont mesurables.

Mesure des vibrations de paliers de la machine non équilibrée (balourd initial **U**).



Mesure des vibrations de paliers après que la machine a été pourvue d'un balourd supplémentaire connu (balourd test **T**). On calcule le balourd initial en comparant les deux mesures.



Calcul de la taille et de la position des masses d'équilibrage à ajouter ou à retirer (**C**). Mesure de contrôle (**A**) après réalisation de la correction des masses. Selon le succès de l'équilibrage, on recommence la procédure jusqu'à ce que les valeurs limites souhaitées pour la vibration de palier soient respectées.

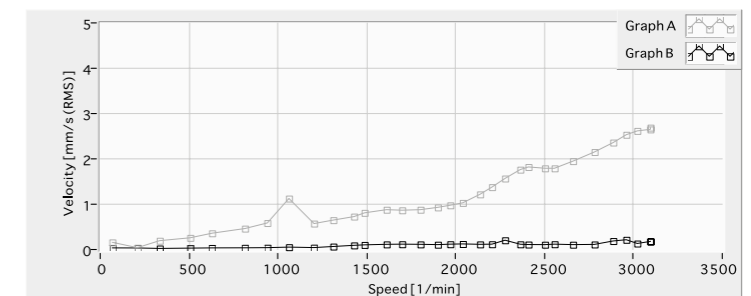


3. Identification de fissures dans les arbres

Les arbres présentant des fissures génèrent un signal de vibration caractéristique qui peut être utilisé pour identifier la fissure. Une méthode d'analyse possible est l'analyse de suivi, qui

consiste à enregistrer le signal de vibration sur une plage de vitesse de rotation plus étendue, et à l'étudier dans un filtre spécial selon les différents ordres de fréquence de rotation.

Le graphique A montre la part de la vibration de palier de 1^{er} ordre (1Ω), tandis que le graphique B montre la part de 2^e ordre (2Ω).



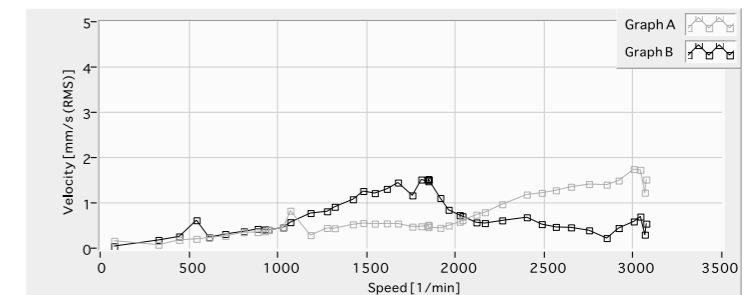
Analyse de suivi d'un arbre sans fissure

État sans fissure:

Les vibrations de paliers de 1^{er} ordre augmentent tout à fait normalement avec la vitesse de rotation en raison du balourd. Les vibrations de paliers de 2^e ordre sont très faibles.

État avec fissure profonde:

tandis que les vibrations de paliers de 1^{er} ordre présentent un comportement similaire à celui d'un arbre sans fissure, pour le 2^e ordre sur la plage de vitesse intermédiaire, on observe une augmentation très forte, ce qui indique clairement la présence d'une fissure.



Analyse de suivi d'un arbre avec fissure

PT 501

Domages sur les paliers à roulement



Description

- évaluation de l'état des paliers par l'analyse des vibrations
- comparaison de paliers présentant des dégradations différentes

L'analyse des vibrations est un outil important pour évaluer l'état d'un palier à roulement. La lente modification du spectre des vibrations fournit des critères d'évaluation de la durée de vie restante d'un palier et de son remplacement. La distribution spectrale peut fournir des indications précises sur le type et le lieu du dommage.

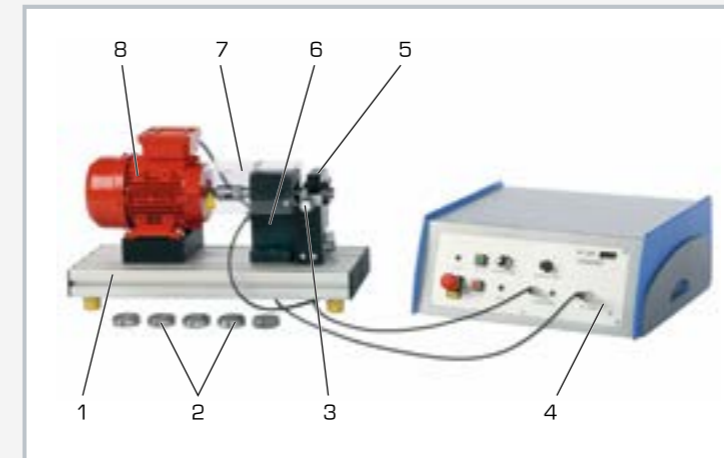
PT 501 comprend six paliers à roulement interchangeable, sur lesquels on peut dépister différentes dégradations et les expliquer. La charge radiale du palier est ajustée par le biais du dispositif de charge sur une plage étendue.

L'entraînement est assuré par un moteur électrique à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence. Un capteur d'accélération avec amplificateur de mesure sert à mesurer les vibrations sur le logement du palier. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur optique.

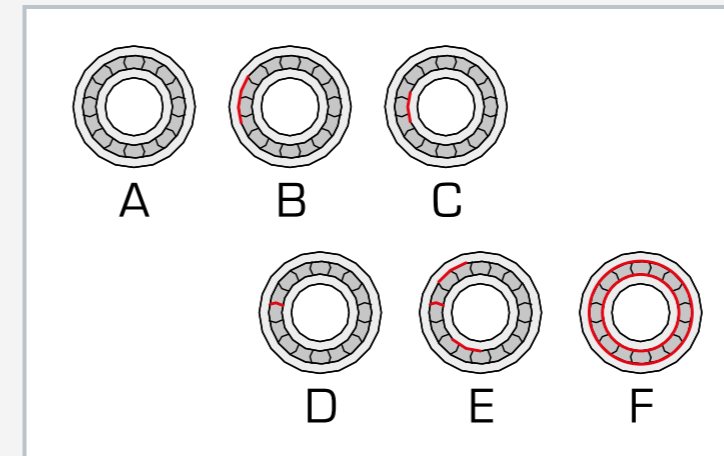
Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel d'analyse des vibrations fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel d'analyse a les caractéristiques suivantes: oscilloscope à deux canaux pour les études sur la plage de temps, analyseur spectral à deux canaux pour les études sur la plage de fréquence, appareil de mesure de l'intensité des vibrations et analyse d'enveloppe pour les effets des chocs et les dommages sur les paliers à roulement.

Contenu didactique/essais

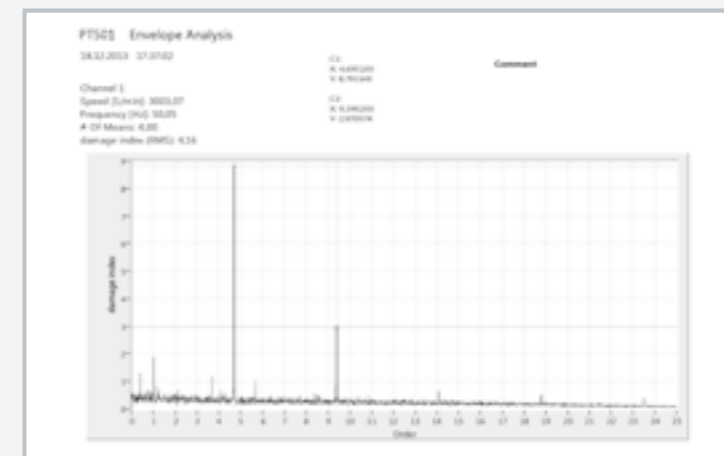
- distribution spectrale des vibrations sur des paliers à roulement
- apprentissage d'analyse d'enveloppe impact de la dégradation du joint torique externe, du joint torique interne ou du corps de roulement sur le spectre
- estimation de la durée de vie de paliers à roulement
- influence du produit lubrifiant sur le spectre des vibrations
- identification de paliers à roulement détériorés
- compréhension et interprétation des spectres de fréquence
- utilisation d'un appareil d'analyse des vibrations assisté par ordinateur



1 plaque de fondation, 2 palier à roulement, 3 dispositif de charge, 4 appareil de commande, 5 accueil du palier à étudier, 6 logement de l'arbre, 7 couvercle transparent, 8 moteur



A) palier non détérioré, B) palier avec détérioration sur le joint torique externe, C) palier avec détérioration sur le joint torique interne, D) palier avec détérioration sur un corps de roulement, E) palier avec détérioration sur le corps de roulement, le joint torique externe et le joint torique interne, F) palier avec forte usure



Analyse d'enveloppe d'un palier à roulement avec dommages sur le joint torique externe (B) à $f=3000\text{min}^{-1}$

Spécification

- [1] étude des vibrations de paliers à roulement
- [2] palier à roulement avec joint torique externe détérioré
- [3] palier à roulement avec joint torique interne détérioré
- [4] palier à roulement avec corps de roulement détérioré
- [5] palier à roulement avec dommage combiné
- [6] palier à roulement ayant déjà longuement servi
- [7] palier à roulement neuf et intact
- [8] moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable par convertisseur de fréquence
- [9] charge radiale du palier par dispositif de charge ajustable
- [10] isolation des vibrations de la plaque de fondation au moyen de pieds en caoutchouc
- [11] instruments: capteur optique de vitesse de rotation, capteur d'accélération pour la mesure des vibrations
- [12] fonctions du logiciel: oscilloscope à deux canaux, analyseur FFT à deux canaux, analyse d'enveloppe, courbe d'accélération et analyse d'ordre
- [13] logiciel GUNT pour l'analyse des vibrations sous Windows Vista ou Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Roulement à billes à rouleaux cylindriques de type NU204-E-TVP2

- diamètre intérieur: $\varnothing=20\text{mm}$
- diamètre extérieur: $\varnothing=47\text{mm}$
- largeur: 14mm
- nombre de rainures: 12

Moteur d'entraînement

- vitesse de rotation: $100\text{...}3000\text{min}^{-1}$
- puissance: 370W

Capteur d'accélération

- plage de fréquence: $1\text{...}10000\text{Hz}$
- sensibilité: 100mV/g

Capteur optique de vitesse de rotation

- portée de détection: $3\text{...}150\text{mm}$
- laser de classe II, 675nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

Lxlh: $510 \times 200 \times 330\text{mm}$ [appareil d'essai]

Lxlh: $420 \times 400 \times 180\text{mm}$ [appareil de commande]

Poids: env. 25kg [total]

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai, 1 appareil de commande
- 6 paliers à roulement
- 1 jeu d'accessoires
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

PT 500 Système de diagnostic de machine

On obtient une bonne évaluation de l'état d'une machine, ou des pièces de la machine, en étudiant le type et la taille de ses vibrations. À cet effet, les vibrations sont enregistrées et évaluées au moyen de capteurs et d'instruments de mesure. Pour bien interpréter les signaux de mesure, il est essentiel de bien comprendre les mécanismes d'action, et d'avoir une certaine expérience en la matière.

Avec le système didactique PT 500, GUNT offre un système d'exercices modulaire, qui traite et explique de manière expérimentale cette thématique complexe de l'enseignement technique. Le système didactique de diagnostic de machines PT 500 permet de simuler, mesurer et analyser de manière ciblée des signaux de vibration caractéristiques de différents dysfonctionnements et défauts, ce qui permet de bien s'exercer à l'interprétation des signaux de mesure.

Des techniques de mesure professionnelles facilitent la transposition de l'expérience acquise à la réalité du métier.

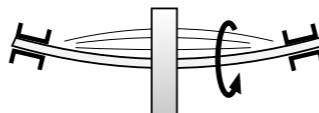
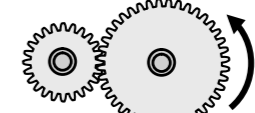
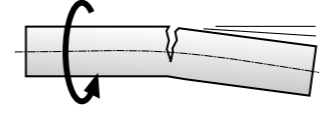
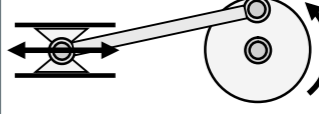
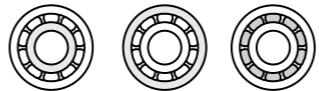

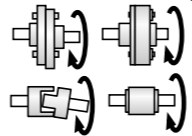
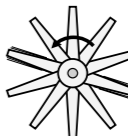
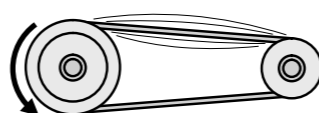
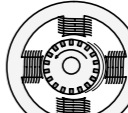


Vous trouverez une vue d'ensemble de toutes les options du système modulaire dans notre brochure PT 500 disponible par téléchargement sur www.gunt.de.

L'unité de base PT 500 est l'élément principal du système didactique. Les composants de l'unité de base PT 500, associés à l'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04, permettent la réalisation d'une série d'exercices sur le thème du diagnostic de machine. Les jeux d'accessoires PT 500.10 à PT 500.19 permettent en outre la simulation reproductible de différents dommages. Outre les exercices de mesure des vibrations (mesure de la déviation, de la vitesse et de l'accélération de la vibration sur la plage de temps ou de fréquence), il est possible de s'exercer à l'équilibrage sur site de rotors rigides, et à l'alignement de lignes d'arbres. Une vaste gamme d'accessoires permet de traiter pratiquement tous les thèmes touchant au diagnostic de machine.

L'unité de base comprend une plaque de fixation à vibrations amorties, un moteur d'entraînement à régulation de vitesse de rotation avec tachymètre, un arbre avec deux disques de masse et deux unités de paliers, un accouplement et des masses pour l'équilibrage.

Accessoires associés à l'unité de base

<p>PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique</p>  <p>Vibrations dues au balourd d'un arbre flexible, résonance, vitesse de rotation critique, équilibrage</p>	<p>PT 500.15 Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages</p>  <p>Identification de dommages sur les engrenages à partir du signal de vibration, influence du type de denture et de la lubrification</p>
<p>PT 500.11 Jeu d'accessoires: arbre fissuré</p>  <p>Comportement de vibration d'un arbre fissuré, identification de la fissure à partir du signal de vibration</p>	<p>PT 500.16 Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle</p>  <p>Vibrations dans les mécanismes bielle-manivelle, forces libres dues à la masse, coups et chocs dus au jeu de palier et à l'usure</p>
<p>PT 500.12 Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement</p>  <p>Identification de dommages sur les paliers à partir du bruit de roulement; différents paliers à roulement déjà endommagés sont compris dans la liste de livraison</p>	<p>PT 500.17 Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes</p>  <p>Bruits et dommages dus à la cavitation, conditions de la cavitation</p>
<p>PT 500.13 Jeu d'accessoires: accouplements</p>  <p>Propriétés de différents types d'accouplements, influence des erreurs de battement radial, de battement axial et de pas sur le comportement de vibration</p>	<p>PT 500.18 Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs</p>  <p>Vibrations dans les ventilateurs, démonstration de l'excitation de vibrations par le passage d'aubes, influence de l'effet gyroscopique</p>
<p>PT 500.14 Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement</p>  <p>Vibrations sur les entraînements par courroie, résonance et vitesse de rotation critique, influence de la tension de courroie, du battement radial et de l'alignement</p>	<p>PT 500.19 Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques</p>  <p>Interaction d'un système mécanique électromagnétique, influence de la charge, de la géométrie des lames d'air et de l'asymétrie électrique</p>

PT 500**Système de diagnostic de machines, appareil de base**

L'illustration montre le système PT 500 prêt pour l'essai avec le chariot mobile PT 500.01.

Description

- unité de base pour la réalisation de nombreux essais de diagnostic de machines avec utilisation de jeux d'accessoires modulaires
- plaque de base en profilé d'aluminium pour le montage rapide et flexible des différents expériences

Afin d'éviter tout endommagement important des machines et d'assurer la réalisation en temps et en heure des opérations de maintenance, il faut avoir connaissance de l'état des machines. De manière générale, on obtient une bonne évaluation de l'état d'une machine ou des pièces de la machine en étudiant le type et la taille de ses vibrations. Le système de diagnostic de machines permet de simuler certains dommages et d'étudier leurs répercussions sur le spectre des vibrations.

L'appareil de base PT 500 permet de réaliser des exercices de mesure de vibrations (mesure du déplacement, de la vitesse de vibration et de l'accélération dans le domaine temporel-fréquentiel). Il peut également être utilisé pour l'équilibrage "in situ" de rotors rigides et l'alignement d'arbres.

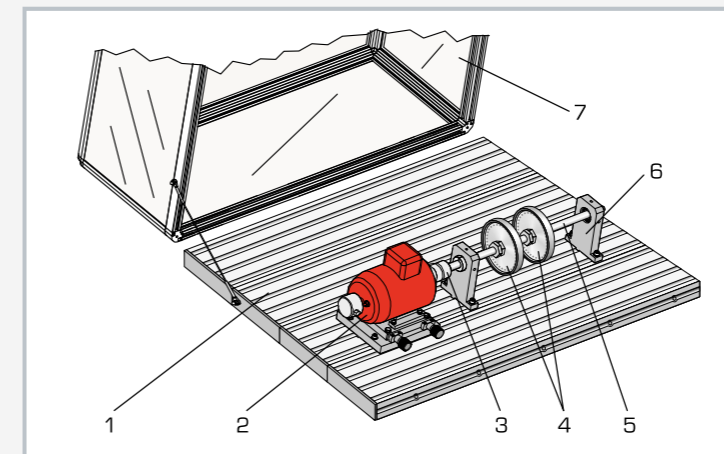
Les principaux composants de l'appareil de base sont les composants mécaniques (accouplement, paliers et arbre avec rotors), le moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence et génératrice tachymétrique ainsi que l'appareil d'affichage et de commande avec affichage numérique de la puissance et de la vitesse de rotation.

La semelle du moteur repose sur un chariot de moteur, de sorte que le moteur peut être aligné. La grande plaque de base d'aluminium avec rainures de guidage permet un montage rapide, flexible et précis des différents composants d'essai. Un capot de protection transparent assure la sécurité nécessaire en fonctionnement et permet une observation aisée des essais. Un système de rangement pratique abrite efficacement toutes les pièces.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de tous les essais. Les jeux d'accessoires PT 500.10 à PT 500.19 permettent la simulation reproductible de différents dommages. Le chariot mobile PT 500.01 est recommandé pour l'utilisation flexible du système d'apprentissage.

Contenu didactique/essais

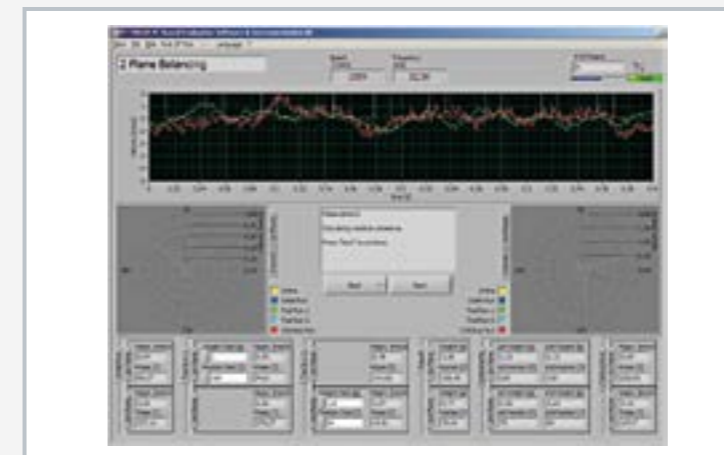
- introduction à la technique de mesure des vibrations sur des systèmes de machines en rotation:
 - ▶ principes de base de la mesure de vibrations d'arbres et de paliers
 - ▶ grandeurs de base et paramètres
 - ▶ capteurs et instruments de mesure
 - ▶ influences de la vitesse de rotation et de la disposition des arbres
 - ▶ influences de la position des capteurs
- équilibrage sur site d'arbres rigides
- influence de l'alignement du moteur et de l'accouplement
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 plaque de base, 2 moteur d'entraînement avec chariot ajustable, 3 accouplement, 4 volant déséquilibré, 5 arbre, 6 palier, 7 capot de protection transparent



L'illustration montre les composants dans le système de rangement.



Capture d'écran du logiciel d'analyse: l'équilibrage "in situ" dans deux plans.

Spécification

- [1] unité de base du système didactique de diagnostic de machines
- [2] plaque de base rigide avec rainures de serrage
- [3] moteur d'entraînement à vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence
- [4] affichage numérique de la vitesse et de la puissance
- [5] 2 arbres: 1 court, 1 long
- [6] 2 volants déséquilibrés avec masses d'équilibrage interchangeables
- [7] paliers, paliers à roulement interchangeables
- [8] trous de fixation pour détecteur de vibrations
- [9] accouplement élastique à griffes et accouplement Controlflex[®]
- [10] alignement angulaire et transversal du moteur
- [11] capot de protection transparent
- [12] système de rangement empilable des composants

Caractéristiques techniques

Plaque de base Lxl: 1100x800
 ■ M8-rainures, distance=50mm

Moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence
 ■ puissance motrice: 0,37kW
 ■ vitesse de rotation nominale: 2800min⁻¹
 ■ plage de vitesses de rotation via convertisseur de fréquence: 100...6000min⁻¹
 ■ appareil d'affichage et de commande avec affichage numérique de la puissance et de la vitesse de rotation

2 arbres: Ø=20mm, longueur 300mm, 500mm
 2 volants déséquilibrés: Ø=150mm, chacun 1675g, avec masses d'équilibrage interchangeables (vis)
 2 paliers: les paliers à roulement sont interchangeables
 Accouplement Controlflex[®], couple nominal: 15Nm

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 3 phases
 Lxlxh: 1100x800x500mm (plaque de base + capot)
 Lxlxh: 475x420x200mm (appareil de commande)
 Lxlxh: 600x390x325mm (système de rangement)
 Poids: env. 95kg (total)

Liste de livraison

- 1 plaque de base avec capot de protection
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence
- 2 arbres
- 2 volants déséquilibrés
- 2 accouplements
- 2 paliers
- 1 plaque de support
- 2 dispositifs de serrage
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

Série PT 500

Jeux d'essai et les composants nécessaires ou optionnels

Essais	Composants							
	PT 500.05 Dispositif de freinage et de charge	PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique	PT 500.12 Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	PT 500.14 Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	PT 500.15 Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	PT 500.01 Chariot mobile	PT 500.04 Analyseur de vibrations assisté par ordinateur	PT 500 Système de diagnostic de machines, appareil de base
PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique								
PT 500.11 Jeu d'accessoires: arbre fissuré								
PT 500.12 Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement								
PT 500.13 Jeu d'accessoires: accouplements								
PT 500.14 Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement								
PT 500.15 Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages								
PT 500.16 Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle								
PT 500.17 Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes								
PT 500.18 Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs								
PT 500.19 Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques								

■ Composant optionnel ■ Composant nécessaire

■ PT 500.41 Deux capteurs de déplacement nécessaire en plus

PT 500.01

Chariot mobile



L'illustration montre PT 500.01 avec la plaque de base et le capot de protection de l'unité de base PT 500.

Description

- chariot pour appareil de base
- mobile grâce aux quatre roues de guidage

Ce chariot permet de réaliser un banc d'essai mobile avec l'appareil de base PT 500. La partie inférieure comporte deux plateaux pour accueillir des instruments de mesure et autres accessoires. Le chariot robuste est en construit en profilés d'aluminium anodisés, les plateaux en tôle d'aluminium anodisée.

Spécification

- [1] chariot destiné au système didactique modulaire diagnostic de machines PT 500
- [2] profil Blocan, aluminium
- [3] 4 roues de guidage, freinées

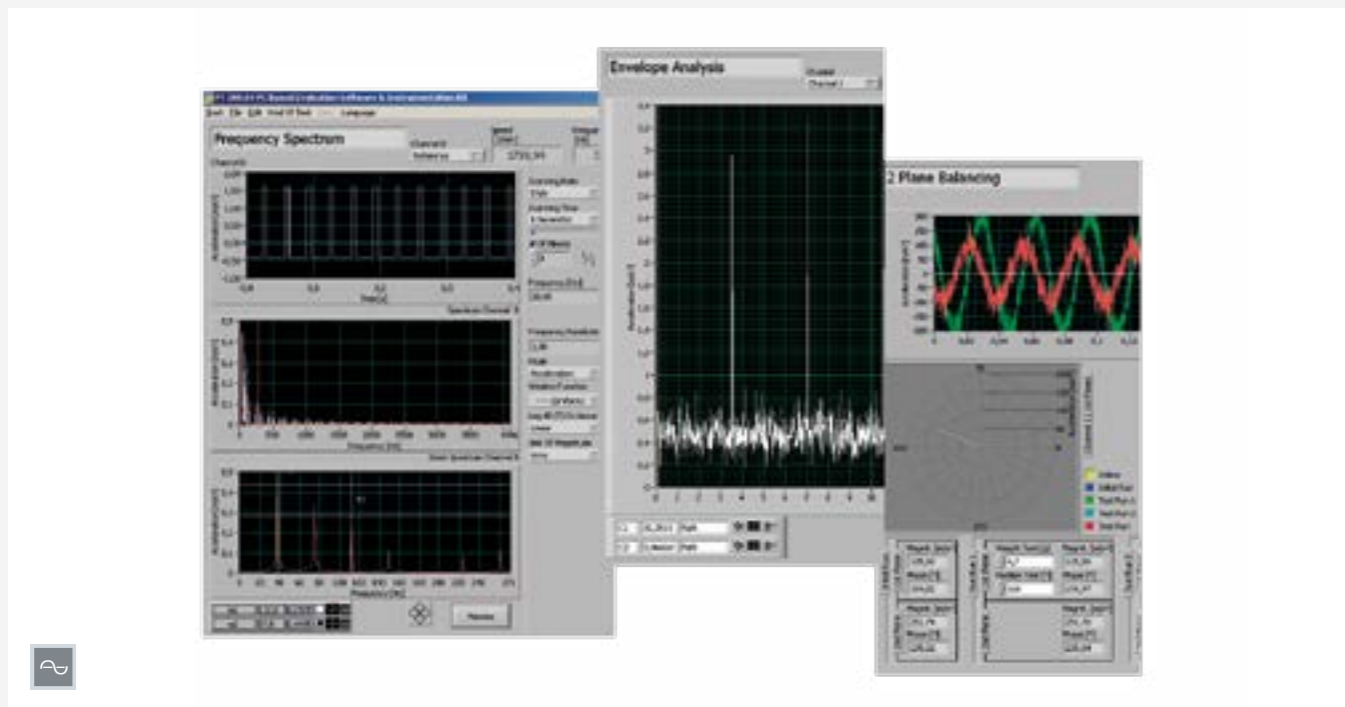
Caractéristiques techniques

Surface de table Lx: 1100x770mm

Lxlxh: 1100x770x820mm
Poids: env. 39kg

Liste de livraison

- 1 chariot complet

PT 500.04**Analyseur de vibrations assisté par ordinateur****Description**

- logiciel polyvalent et performant pour l'analyse des vibrations
- supporte tous les essais pour le diagnostic de machine de la série PT 500
- convient pour l'équilibrage "in situ" des rotors dans un et deux plans

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur a été développé spécialement pour permettre l'interprétation des essais pour le diagnostic de machine de la série PT 500. Mais l'appareil de mesure peut également être utilisé avec profit pour de nombreux autres essais relatifs aux vibrations (p. ex. TM 150).

Le système comprend deux capteurs d'accélération, un capteur de vitesse de rotation, un amplificateur de mesure à gain ajustable, un box USB et un logiciel d'analyse.

Les caractéristiques du logiciel d'analyse sont les suivantes: oscilloscope bicanal pour les essais dans le domaine temporel, analyseur de spectre bicanal pour les essais dans le domaine fréquentiel,

appareil de mesure de l'intensité de vibration, analyse d'enveloppe pour les effets de chocs et les dommages des paliers à roulement, filtre suiveur pour l'enregistrement de courbes de montée en puissance, représentation des orbitales et module d'équilibrage "in situ" des rotors rigides dans un et deux plans.

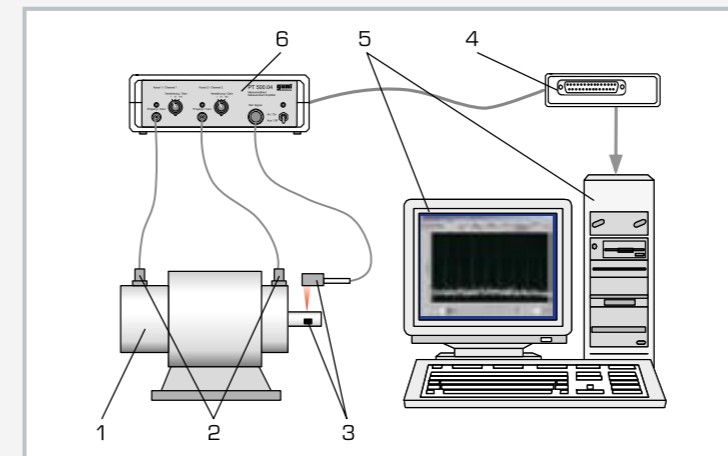
Le logiciel permet d'appliquer différentes méthodes d'analyse à un signal de vibration et d'en comparer l'efficacité. Il devient ainsi facile de déterminer les avantages et les inconvénients des différentes techniques. Le processus d'équilibrage est expliqué pas à pas.

Le logiciel possède une interface claire et est facile d'utilisation. Une aide en ligne explique les différentes fonctions. Les résultats des mesures peuvent être imprimés.

Les câbles, supports et éléments de fixation sont fournis.

Contenu didactique/essais

- en association avec les essais de la série PT 500 dans son ensemble, les sujets suivants peuvent être traités:
 - ▶ faire connaissance avec des signaux de vibration
 - ▶ bonne utilisation de l'analyse de la transformée de Fourier rapide (FFT)
 - ▶ mesure de la vitesse de rotation, du déplacement de vibration, de la vitesse de vibration et de l'accélération
 - ▶ évaluation de l'état vibratoire d'une machine
 - ▶ analyse des dommages des paliers à roulement et des réducteurs à l'aide de spectres d'enveloppe
 - ▶ détection des fissures sur les arbres à l'aide de courbes de montée en puissance et d'une analyse d'ordre
 - ▶ mesure des vibrations dues au balourd de rotors rigides dans 1 et 2 plans



1 machine vibrante, 2 capteurs d'accélération, 3 arbre avec capteur de référence, 4 box USB, 5 ordinateur (ordinateur non fourni), 6 amplificateur de mesure / filtre



Capteurs montés: capteur d'accélération sur le support noir, capteur de vitesse avec support



L'illustration montre tous les composants du PT 500.04.

Spécification

- [1] analyseur de vibrations assisté par ordinateur pour la visualisation et l'interprétation des essais avec la série PT 500 "Diagnostic de machine"
- [2] 2 capteurs d'accélération pour le déplacement de vibration, la vitesse de vibration et l'accélération
- [3] capteur optique pour la vitesse de rotation
- [4] amplificateur de mesure bicanal à gain ajustable
- [5] fonctions du logiciel: oscilloscope bicanal, analyseur bicanal de la transformée de Fourier rapide, analyse d'enveloppe, courbe de montée en puissance et analyse d'ordre, équilibrage "in situ" dans 2 plans
- [6] 2 capteurs de déplacement PT 500.41 peuvent être raccordés
- [7] convient pour les mesures en général dans le domaine des vibrations
- [8] système de rangement empilable pour les pièces
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques**Capteurs d'accélération**

- plage de fréquences: 1...10000Hz
- sensibilité: 100mV/g
- fréquence de résonance: 32kHz

Capteur optique de vitesse de rotation

- portée de détection: 3...150mm
- laser classe II, 675nm

Amplificateur de mesure

- gain ajustable: x1, x10, x100
- alimentation par bloc d'alimentation 12VCC
- Lxlxh: 230x220x80mm

Box USB

- 16 entrées analogique, 2 sorties analogique
- 4 entrées/sorties numérique chaque

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 600x400x220mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 2 capteurs d'accélération
- 1 capteur de vitesse de rotation avec support
- 1 amplificateur
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 boîte USB + câble de données
- 1 clé mixte de 13
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.05

Dispositif de freinage et de charge



Description

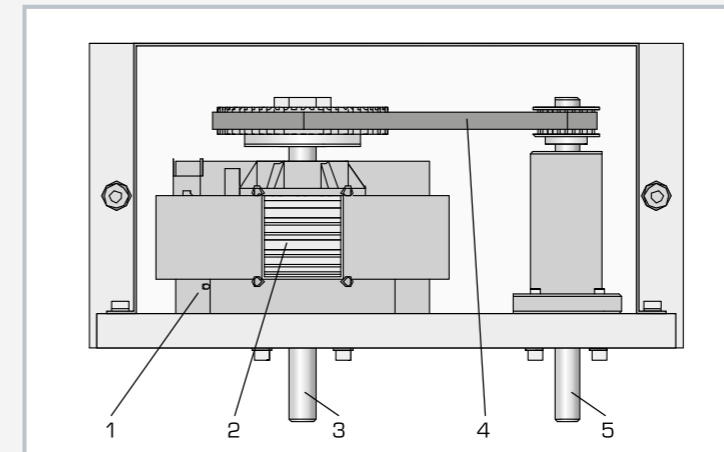
- génération d'un couple de charge
- deux plages de vitesse de rotation et de couple
- frein ventilé à particules magnétiques avec appareil d'affichage et de commande

Beaucoup de phénomènes de vibration ne sont représentables qu'en charge. Pour générer des vibrations dépendant du couple, p. ex. dans des transmissions à engrenages ou des moteurs électriques, on utilise un dispositif de freinage et de charge. Il est constitué d'un frein à particules magnétiques et d'un appareil d'affichage et de commande. Le couple de freinage est ajustable finement sur l'appareil d'affichage et de commande. Le courant d'excitation est alors pris comme mesure du couple de freinage et affiché numériquement sur un écran.

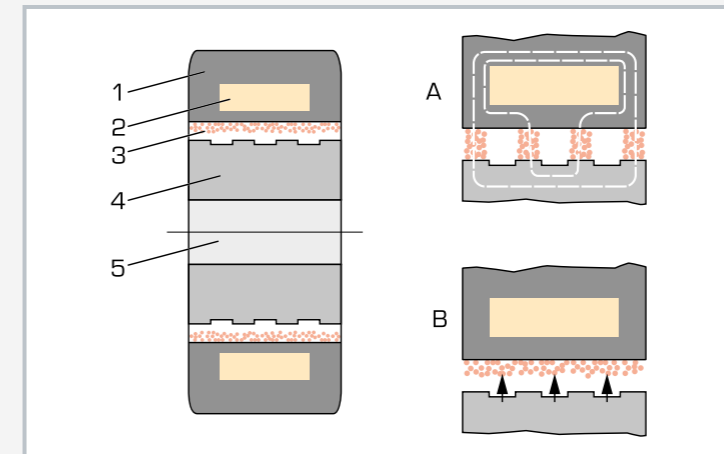
Un entraînement à courroie intégré et un deuxième arbre de sortie confèrent au frein deux plages de couples et de vitesses de rotation. L'énergie est transformée en chaleur par le frein et dissipée dans l'environnement par un ventilateur.

Le frein se monte rapidement et avec précision sur la plaque rainurée de l'appareil de base PT 500.

Le dispositif PT 500.05 est utilisé avec les jeux d'accessoires suivants:
PT 500.13 Accouplements
PT 500.14 Courroie d'entraînement
PT 500.15 Dommages aux engrenages
PT 500.19 Vibrations électromécaniques



1 frein à particules magnétiques, 2 ventilateur, 3 arbre pour raccordement direct du frein, 4 entraînement par courroie, 5 arbre pour raccordement du frein via l'entraînement à courroie



Fonctionnement d'un frein à particules magnétiques: 1 stator, 2 bobine excitatrice, 3 interstice avec particules magnétiques, 4 rotor, 5 arbre; A le courant circule: Les particules magnétiques relient le rotor au stator, ce qui produit des frottements, B circulation du courant interrompue: les particules magnétiques sont comprimées contre le stator sous l'effet de la force centrifuge, le rotor peut tourner



L'illustration montre le PT 500.05 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.15 et PT 500.04.

Spécification

- [1] dispositif de freinage et de charge pour le système didactique de diagnostic de machines
- [2] frein à particules magnétiques
- [3] appareil d'affichage et de commande avec affichage du courant d'excitation
- [4] potentiomètre d'ajustage du couple de freinage
- [5] entraînement par courroie intégré pour une deuxième plage de vitesse de rotation et de couple
- [6] protection thermique et ventilateur contre la surchauffe
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Puissance à régime constant: env. 450W/3000min⁻¹

Rapport de transmission entre les arbres du frein: $i=3$

Fonctionnement direct du frein

- plage de vitesses de rotation: 200...2000min⁻¹
- couple de freinage: 1...10Nm

Fonctionnement via entraînement à courroie

- plage de vitesses de rotation: 600...6000min⁻¹
- couple de freinage: 0,3...3,3Nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlh: 460x410x200mm (appareil d'affichage et de commande)

Lxlh: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 frein à particules magnétiques
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.10**Jeu d'accessoires: arbre élastique****Description**

- vibrations de flexion de l'arbre élastique
- résonance et vitesse de rotation critique

Le jeu d'accessoires permet d'étudier le comportement d'un rotor élastique soumis à une excitation à balourd. On peut démontrer les états de marche sous-critiques, surcritiques et la résonance. Il est particulièrement intéressant de comparer les trajectoires (orbites) dans les zones sous-critique et surcritique.

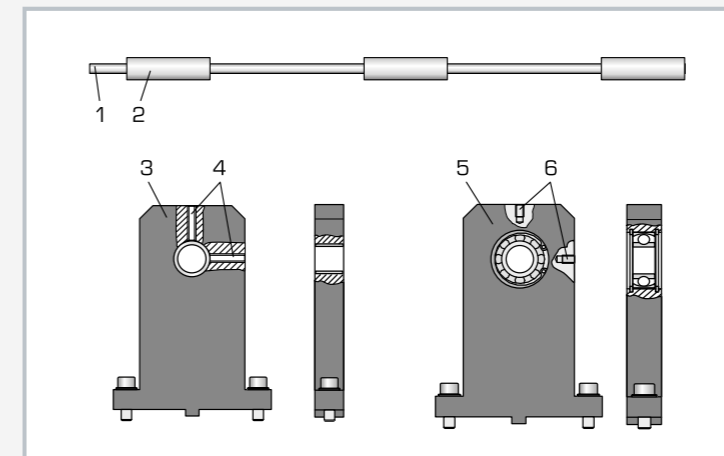
Un autre thème est l'équilibrage de rotors élastiques. Les roulements à rotule et à billes fournis garantissent la pleine mobilité de l'arbre. Le support de reprise limite les amplitudes dans la plage proche de la résonance à des valeurs non dangereuses.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 et les deux capteurs de déplacement PT 500.41 sont nécessaires pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Ils comprennent tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

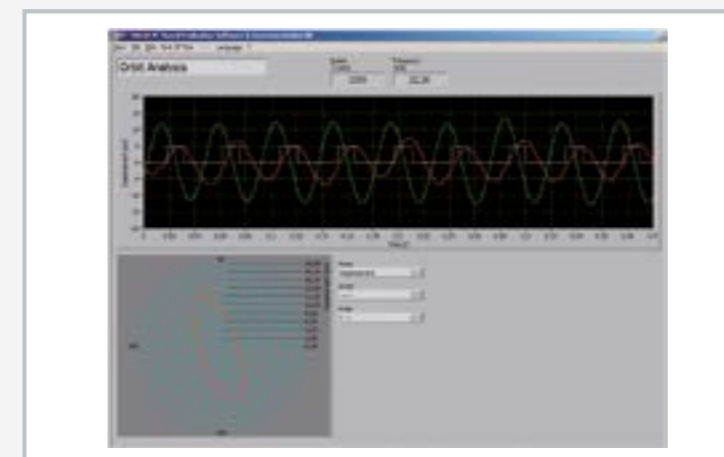
- apprentissage des notions de vitesse de rotation critique et de résonance
- influence de l'excitation à balourd
- équilibrage du rotor élastique
- influence des erreurs d'alignement
- compréhension et interprétation des spectres de fréquence
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec les deux capteurs de déplacement PT 500.41
 - ▶ étude de la trajectoire dans les domaines sous-critique et surcritique



1 arbre élastique, 2 palier, 3 support de reprise, 4 orifices pour les capteurs de déplacement, 5 support de palier avec roulement à rotule sur billes, 6 orifices pour les capteurs d'accélération



L'illustration montre le PT 500.10 avec PT 500, PT 500.01 et PT 500.04.



Capture d'écran du logiciel d'analyse
haut: signaux de vibration en fonction de temps
bas: représentation de trajectoire pour la vibration dans deux plans

Spécification

- [1] étude des vibrations de flexion d'un arbre élastique
- [2] arbre élastique en acier inoxydable
- [3] 2 supports de palier avec roulements à rotule sur billes
- [4] 1 support de reprise
- [5] les supports de palier et le support de reprise sont pourvus d'orifices pour accueillir les capteurs
- [6] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Arbre élastique:

- diamètre min.: $\varnothing=10\text{mm}$
- diamètre aux paliers: $\varnothing=20\text{mm}$
- longueur: 530mm
- longueur nominale entre les paliers: 450mm

Lxlxh: 600x400x120mm (système de rangement)
Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 arbre élastique
- 2 supports de palier
- 1 support de reprise
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.11**Jeu d'accessoires: arbre fissuré****Description**

- comportement en vibration d'un arbre avec fissure radiale
- identification du dommage

Les fissures de fatigue du matériau sont très dangereuses pour les machines tournantes. Une détection précoce de la fissure est dès lors importante avant une rupture totale aux conséquences souvent fatales. La fissure influence le comportement en vibration de l'arbre par modification de la rigidité. Un logiciel d'analyse approprié permet d'enregistrer cette modification et par conséquent de prévoir à temps la révision de la machine.

Pour l'essai, la fissure est simulée par un raccord asymétrique à flasques. Un serrage asymétrique des vis des flasques permet de laisser bailler l'assemblage, ce qui se rapproche très fort du comportement d'une fissure.

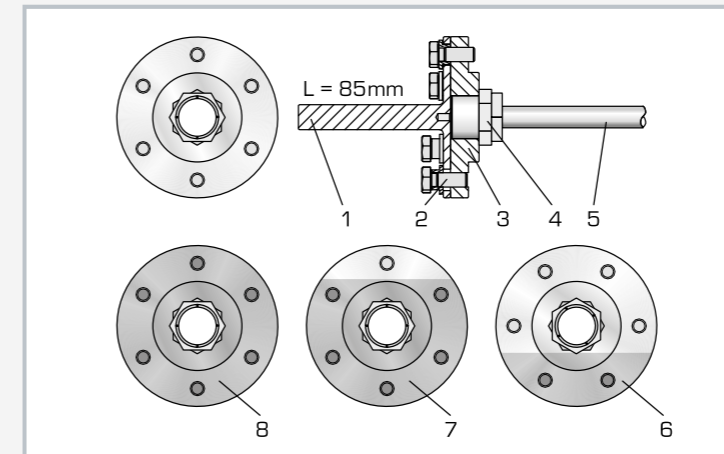
Le jeu d'accessoires contient deux arbres de longueurs différentes: un arbre court et un arbre long. L'arbre court simule une extrémité d'arbre en porte-à-faux, il est mis en charge à l'aide de l'entraînement à courroie PT 500.14. L'arbre long est utilisé avec un support de reprise de PT 500.10 et un disque de masse de l'appareil de base pour étudier la fissure dans un arbre de rotor élastique.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

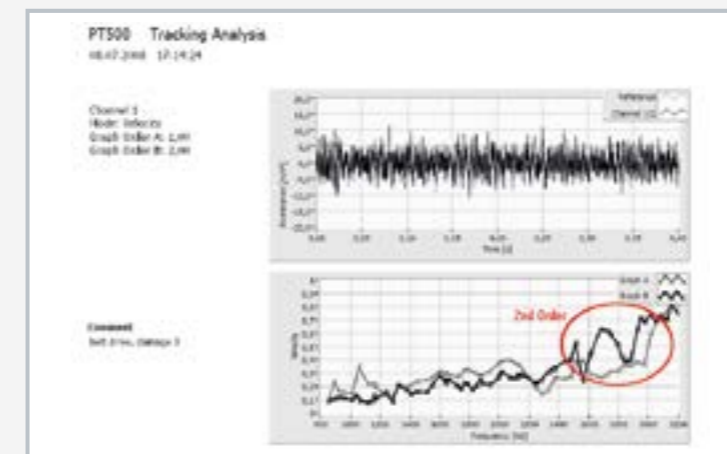
- modification du comportement caractéristique en vibration (fréquence propre, vitesse de résonance, amplitude et phase des vibrations) induit par une fissure
- identification de la fissure à partir de la modification du spectre de vibrations
- fissure dans l'arbre pour l'extrémité d'arbre en porte-à-faux
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec un support de reprise (p. ex. de PT 500.10 Jeu d'accessoires: arbre élastique):
 - ▶ fissure dans l'arbre d'un rotor élastique



1 bride avec arbre court (charge via entraînement à courroie), 2 vis, 3 disque récepteur, 4 kit de serrage, 5 arbre moteur, 6 arbre avec fissure maximale (raccord à brides avec 2 vis porteuses), 7 arbre avec petite fissure (raccord à brides avec 5 vis porteuses), 8 arbre sans fissure (raccord à brides avec 6 vis porteuses)



L'illustration montre le PT 500.11 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.14 et PT 500.04.



Analyse de suivi du 2° degré du rotor avec fissure: nette augmentation de l'amplitude au 2° degré (en rouge)

Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'un arbre avec fissure
- [2] adaptateur de fissure sous forme de flasque
- [3] simulation de fissure par ouverture d'assemblages vissés
- [4] simulation de 4 fissures de tailles différentes
- [5] arbre court de simulation d'une "extrémité d'arbre en porte-à-faux"
- [6] arbre long de simulation du "rotor élastique"
- [7] le jeu d'accessoires PT 500.14 [courroie d'entraînement] génère le moment de flexion nécessaire
- [8] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [9] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Diamètre de bride: $\varnothing=90\text{mm}$

6 vis à tête hexagonale M8x20 pour flasques

Arbres

■ diamètre: $\varnothing=20\text{mm}$

■ arbre court: $L=85\text{mm}$

■ arbre long: $L=200\text{mm}$

■ moments de flexion max. admissibles:

▶ arbre court pour poulie: 15,9Nm

▶ arbre long pour disque de masse: 3,9Nm

Lxlxh: 400x300x120mm (système de rangement)

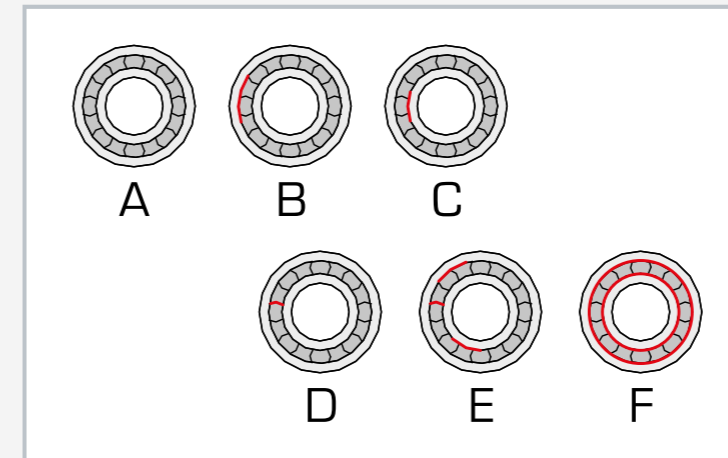
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 disque récepteur
- 1 arbre long
- 1 arbre court
- 1 mandrin de centrage pour l'alignement des arbres lors du montage expérimental
- 6 vis
- 1 kit de serrage
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.12**Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement****Contenu didactique/essais**

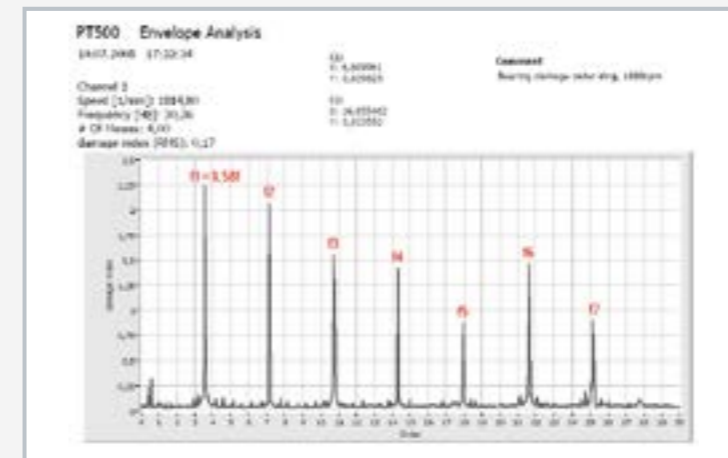
- composition spectrale des vibrations de paliers à roulement
- apprentissage d'analyse d'enveloppe
- influence sur le spectre de détériorations à la bague extérieure, à la bague intérieure ou au corps de roulement
- estimation de la durée de vie de paliers à roulement
- influence du lubrifiant sur le spectre des vibrations
- détection de paliers à roulement défectueux
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



A) palier intact, B) palier avec détérioration de la bague extérieure, C) palier avec détérioration de la bague intérieure, D) palier avec détérioration d'un corps de roulement, E) palier avec détérioration d'un corps de roulement, de la bague extérieure et de la bague intérieure, F) palier fortement usé



L'illustration montre le PT 500.12 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.14 et PT 500.04.



Analyse d'enveloppe du palier avec détérioration de la bague extérieure [B] à $f=1800\text{min}^{-1}$, fréquence de défaut $f_1=3,58f$, de f_2 à f_7 ondes harmoniques

Spécification

- [1] analyse des vibrations de paliers à roulement
- [2] palier à roulement avec bague extérieure défectueuse
- [3] palier à roulement avec bague intérieure défectueuse
- [4] palier à roulement avec corps de roulement défectueux
- [5] palier à roulement avec dommage combiné
- [6] palier à roulement usé
- [7] palier à roulement neuf et intact
- [8] sollicitation radiale des paliers avec le kit PT 500.14 (courroie d'entraînement)
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

- Roulements à rotule sur billes type NU204-E-TVP2
- diamètre intérieur: $\varnothing=20\text{mm}$
 - diamètre extérieur: $\varnothing=47\text{mm}$
 - largeur: 14mm
 - nombre de rouleaux: 12

Lxlxh: 400x300x120mm [système de rangement]
Poids: env. 4kg

Liste de livraison

- 6 paliers à roulement
- 1 support de palier
- 2 pince pour circlips
- 1 pince à circlips
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

Description

- évaluation de l'état d'un palier par analyse des vibrations
- comparaison de paliers présentant des détériorations différentes

L'analyse des vibrations est un outil important pour juger l'état d'un palier à roulement. La modification lente du spectre de vibration sert de critère pour la durée de vie restante d'un palier et son remplacement. La distribution spectrale peut donner des indications précises sur la nature et l'emplacement du dommage.

Le jeu d'accessoires contient six paliers à roulement, sur lesquels des détériorations différentes peuvent être mises en évidence et expliquées. Le jeu d'accessoires courroie d'entraînement PT 500.14 (réglage de la tension de courroie, charge fixe) permet de régler la charge radiale du palier dans une large gamme de limites.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

PT 500.13**Jeu d'accessoires: accouplements**

L'illustration montre le PT 500.13 avec l'accouplement à griffes de PT 500.

Description

- **analyse de vibrations d'accouplements**
- **battement radial, battement axial et erreur de pas**
- **caractéristiques de différents types d'accouplements: accouplement boulonné, accouplement à denture bombée, accouplement à plateau, accouplement à griffes**

Le couplage d'éléments de machines tournants est assuré par le biais d'accouplements. Un accouplement présentant des erreurs de fabrication ou de montage génère des vibrations au niveau de la machine. Ces vibrations fournissent à leur tour des renseignements sur des défauts ou détériorations spécifiques.

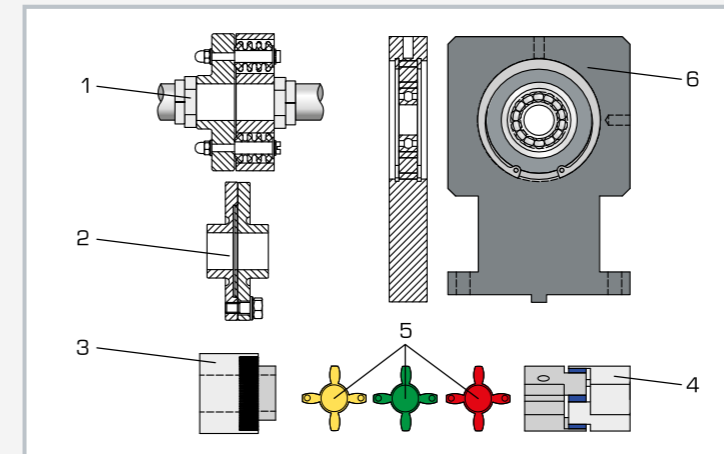
Le jeu d'accessoires PT 500.13 est utilisé pour simuler différents défauts et étudier les répercussions sur le comportement en vibration. Il permet en outre de comparer les caractéristiques de différents types d'accouplements. Les accouplements pris en considération sont les accouplements à denture bombée, boulonnés, à plateau et à griffes. Les accouplements sont montés entre le moteur et l'arbre. Le dispositif de charge PT 500.05 est nécessaire pour l'étude du comportement des accouplements en charge.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

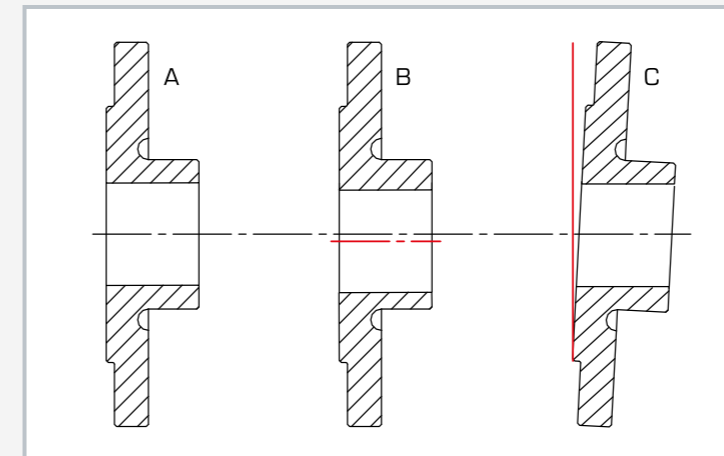
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

- répercussions d'erreurs d'alignement sur différents types d'accouplement:
 - ▶ accouplement boulonné avec défaut de centrage
 - ▶ accouplement à griffes avec défaut de centrage
- répercussions d'erreurs de fabrication telles que le battement radial, le battement axial et l'erreur de pas sur le comportement de marche de la machine
 - ▶ accouplement à plateau sans défaut
 - ▶ accouplement à plateau avec battement radial
 - ▶ accouplement à plateau avec battement axial
 - ▶ accouplement boulonné sans défaut
 - ▶ accouplement boulonné avec erreur de pas
- identification d'erreurs d'accouplement à partir du signal de vibration
- comportement de marche en fonction de la charge
- influence de la dureté de la couronne dentée pour les accouplements à griffes
- comparaison de l'accouplement à denture bombée, de l'accouplement boulonné, de l'accouplement à plateau et de l'accouplement à griffes
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 accouplement boulonné, 2 accouplement à plateau, 3 accouplement à denture bombée, 4 accouplement à griffes avec intercalaire (tous les deux de PT 500), 5 intercalaires, 6 support de palier avec palier élastique



Demi-accouplements à plateau: A sans défaut, B battement radial, C battement axial



L'illustration montre le PT 500.13 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.05 et PT 500.04.

Spécification

- [1] étude du comportement en vibration de différents types d'accouplements avec et sans défaut
- [2] accouplement à denture bombée
- [3] 3 intercalaires différents pour l'accouplement à griffes élastique de l'appareil de base PT 500
- [4] accouplement à plateau sans défaut
- [5] accouplement à plateau avec battement axial
- [6] accouplement à plateau avec battement radial
- [7] accouplement boulonné avec et sans erreur de pas
- [8] le montage expérimental peut être utilisé avec le dispositif de freinage et de charge PT 500.05
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques**Accouplement boulonné**

- 1 boulon centré
- 1 boulon décentré
 - ▶ excentricité du boulon: 1mm
- erreur de pas max.: $180^\circ \pm 1,909^\circ$

Intercalaires pour l'accouplement à griffes

- 98 Shore A (rouge)
- 92 Shore A (jaune)
- 64 Shore D (vert)
- 80 Shore A (bleu, compris dans PT 500)

Accouplement à plateau

- battement radial (décentrage): 0,2mm
- battement axial: $0,4 \pm 0,1$ mm

LxLxh: 400x300x170mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 accouplement à denture bombée
- 1 accouplement à plateau sans défaut
- 1 accouplement à plateau avec battement radial
- 1 accouplement à plateau avec battement axial
- 1 accouplement boulonné à erreur de pas ajustable
- 3 étoiles d'accouplement
- 1 support de palier
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.14**Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement****Description**

- vibrations d'entraînements à courroie
- résonance et vitesse de rotation critique

Réalisés et ajustés dans les règles de l'art, les entraînements à courroie demandent peu d'entretien, sont silencieux et à longue durée de vie. Il est important d'éviter une vibration et/ ou un patinage de la courroie.

Le jeu d'accessoires PT 500.14 permet d'étudier les conditions conduisant à des vibrations ou un patinage. Des courroies de tensions ajustables permettent de démontrer l'influence d'une différence d'allongement de courroies multiples. L'entraînement à courroie est du type double, avec un tendeur de courroie. Il peut cependant être utilisé également avec une seule courroie. Une petite poulie à perçage excentré et une courroie trapézoïdale endommagée élargissent le programme d'expérience.

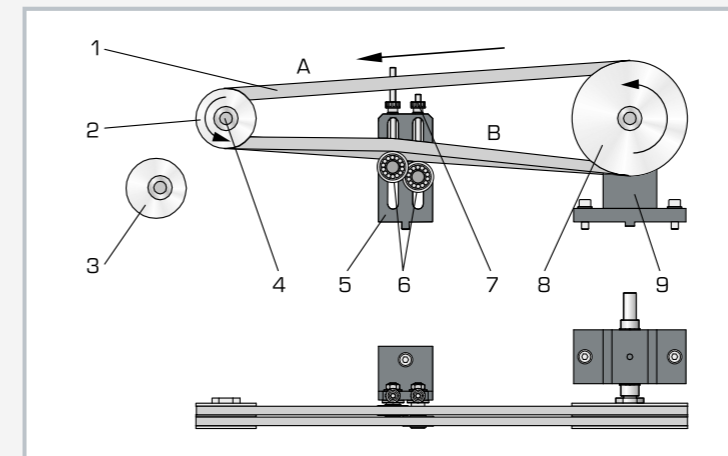
La réalisation des essais nécessite un dispositif de freinage et de charge PT 500.05. Le jeu d'accessoires PT 500.14 peut également être utilisé pour créer des charges transversales dans d'autres essais.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

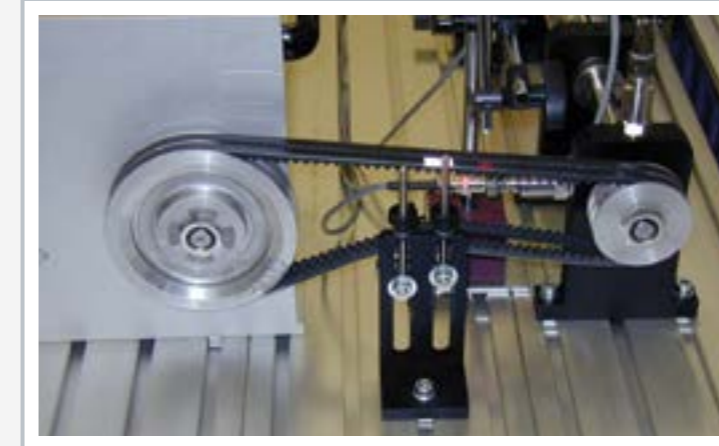
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

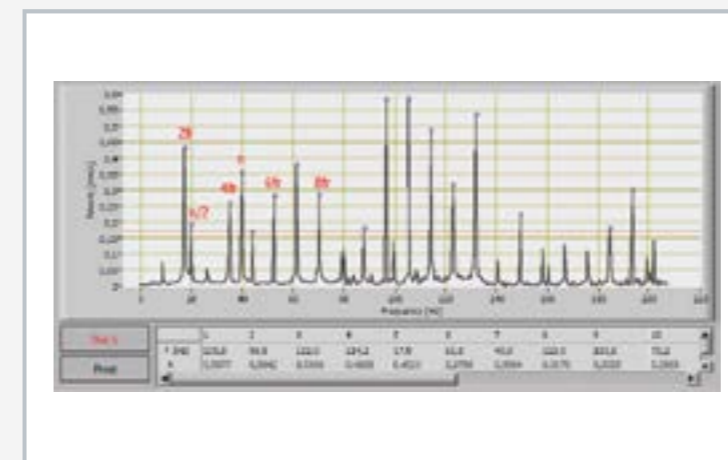
- influence de la tension de courroie sur les vibrations
- influence de la vitesse de rotation sur les vibrations
- influence de poulies ovalisées et d'une dérive
- répartition de puissance pour des courroies multiples
- influence du glissement sur le spectre des vibrations
- comparaison entre courroie intacte et courroie endommagée
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 courroie, 2 petite poulie (motrice), 3 petite poulie excentrée, 4 kit de serrage, 5 dispositif de tension pour la courroie, 6 poulies de tension, 7 ajustage de la tension de la courroie trapézoïdale, 8 grande poulie, 9 support de palier



L'illustration montre le PT 500.14 avec PT 500.05.



Spectre de fréquences pour l'entraînement à courroie: fréquence de la courroie f_c , avec des ondes harmoniques $2f_c$, $4f_c$, $6f_c$; vitesse de rotation n , $n/2$

Spécification

- [1] analyse des vibrations d'entraînements à courroie
- [2] entraînement à courroie double avec courroies trapézoïdales
- [3] l'entraînement par courroie peut fonctionner avec une courroie
- [4] tensions des courroies ajustables individuellement
- [5] poulies avec battement radial
- [6] courroie trapézoïdale endommagée
- [7] appareil de mesure pour déterminer la précontrainte de la courroie D...150N
- [8] convient pour appliquer des charges transversales dans d'autres jeux d'accessoires de la série PT 500
- [9] le dispositif de freinage et de charge PT 500.05 pour essais sur entraînement à courroie est nécessaire
- [10] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [11] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Poulies pour courroie trapézoïdale

- grande: $\varnothing=125\text{mm}$
- petite: $\varnothing=63\text{mm}$
- petite, décentrée: $\varnothing=63\text{mm}$

Entraxe: 300mm

Courroie trapézoïdale

- SPZ, largeur env. 10mm
- longueur de la courroie: 912mm

Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 3 courroies trapézoïdales
- 3 poulies
- 1 jeu de poulies de tension
- 1 appareil de mesure pour déterminer la précontrainte de la courroie
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.15**Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages****Description**

- analyse de vibrations issues de défauts de denture
- localisation de défauts dans des engrenages

Le jeu d'accessoires PT 500.15 permet de simuler des dommages typiques d'engrenages et d'étudier leurs répercussions sur le comportement vibratoire. Plusieurs jeux de roues dentées avec défaut de denture sont livrés à cet effet. Des jeux de roues intacts sont disponibles à titre comparatif. On peut également montrer la différence entre denture droite et denture hélicoïdale. Des flasques paliers mobiles permettent d'étudier l'influence de l'entraxe ou du jeu des roues dentées. Comme la nature de la lubrification influence fortement le signal de vibration, on peut lubrifier avec de la graisse ou de l'huile à engrenages.

Pour les essais de vibrations, on utilise le couvercle de carter avec percages pour capteurs. Le couvercle de carter transparent sert à l'observation de l'engrenage en fonctionnement, sans que des mesures de vibrations soient effectuées.

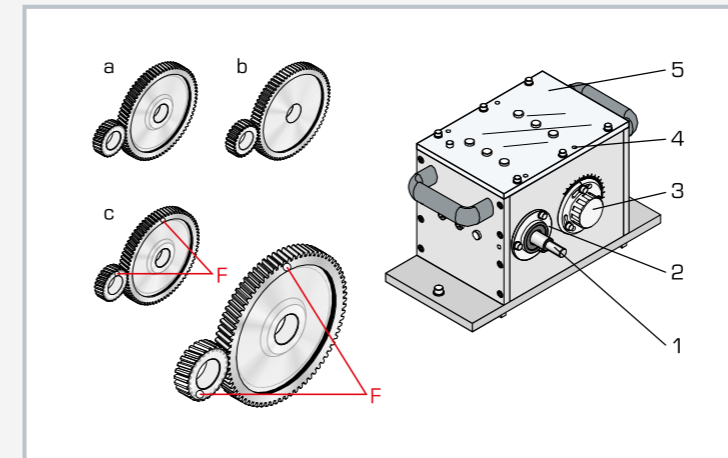
Le dispositif de freinage PT 500.05 est nécessaire pour la mise en charge de l'engrenage.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

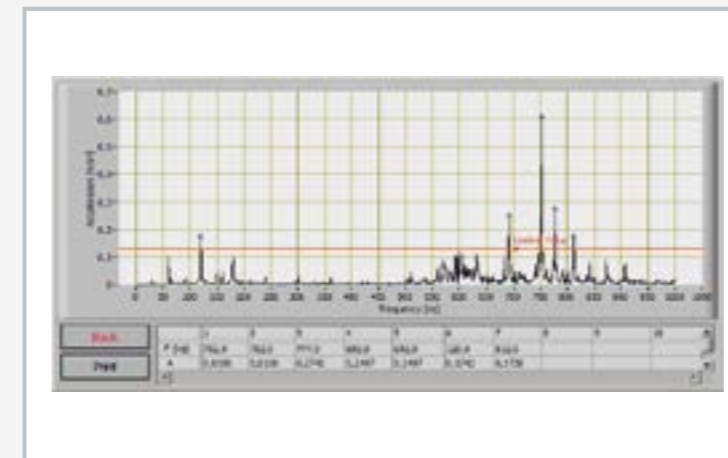
- identification de dommages aux engrenages à l'aide du comportement en vibration
- influence du type de denture
 - ▶ denture droite
 - ▶ denture hélicoïdale
- localisation du dommage
- influence de la lubrification
- influence de l'entraxe et du jeu de roues dentées
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 extrémité d'arbre, 2 chapeau de palier avec traversée d'arbre, 3 chapeau de palier avec possibilité d'ajustage de l'entraxe, 4 trou taraudé pour capteur de vibrations, 5 couvercle de carter transparent; a jeu de roues à denture hélicoïdale, b jeu de roues à denture droite, c jeux de roues endommagés; F défaut



L'illustration montre le PT 500.15 avec PT 500, PT 500.01, PT 500.05 et PT 500.04.



Spectre pour l'engrenage à denture droite à 1800min⁻¹: fréquence d'engrenage 752Hz

Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'engrenages
- [2] jeu d'engrenages à deux arbres
- [3] 2 jeux de roues endommagés et 2 jeux de roues intacts
- [4] denture droite et denture hélicoïdale
- [5] couvercle de carter avec percages pour capteurs
- [6] couvercle de carter transparent
- [7] les engrenages peuvent être lubrifiés à la graisse ou à l'huile
- [8] mise en charge du montage expérimental avec le dispositif de freinage et de charge PT 500.05
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Rapport de transmission i: 1:3

Entraxe ajustable

Profil de référence suivant DIN 867

Jeux de roues à denture droite

- roue dentée: respectivement 75 dents, m=2mm
- pignons: chacun 25 dents, m=2mm

Jeux de roues à denture hélicoïdale

- roue dentée: respectivement 75 dents, m=2mm
- pignons: chacun 25 dents, m=2mm
- angle d'hélice: 10°

Lxlxh: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 25kg

Liste de livraison

- 1 carter
- 1 couvercle de carter transparent
- 1 couvercle de carter avec percages pour capteurs
- 4 roues dentées
- 4 pignons
- 1 huile moteur SAE 10W 40, 1,5L
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.16**Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle****Description**

- vibrations de commandes à manivelle
- jeu dans les paliers de pièces de machines oscillantes

Les commandes à manivelle sont utilisées souvent dans les compresseurs et les pompes. Du fait des masses oscillantes et des forces, les commandes à manivelle sont la cause d'une série de vibrations. En raison des contraintes alternées dans le mécanisme, un jeu de palier peut p. ex. provoquer des chocs à hautes fréquences. En raison de la cinématique non linéaire, les masses libres génèrent des harmoniques de vibrations.

Pour le jeu d'accessoires PT 500.16, on peut ajuster la course, l'équilibrage et le jeu de palier dans la tête de piston. La vitesse de rotation est ajustée à l'aide de l'appareil de base PT 500. Les forces dues aux gaz, comme on les rencontre p. ex. dans les compresseurs ou dans les moteurs à combustion, peuvent être simulées par l'utilisation de ressorts. Pour la réalisation d'essais avec des forces dues aux gaz, on a besoin de couples de rotation plus élevés, qui sont obtenus par la démultiplication de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement de l'appareil de base PT 500.

Cette démultiplication est réalisée soit avec l'entraînement par courroie PT 500.14 soit avec la boîte à engrenages PT 500.15.

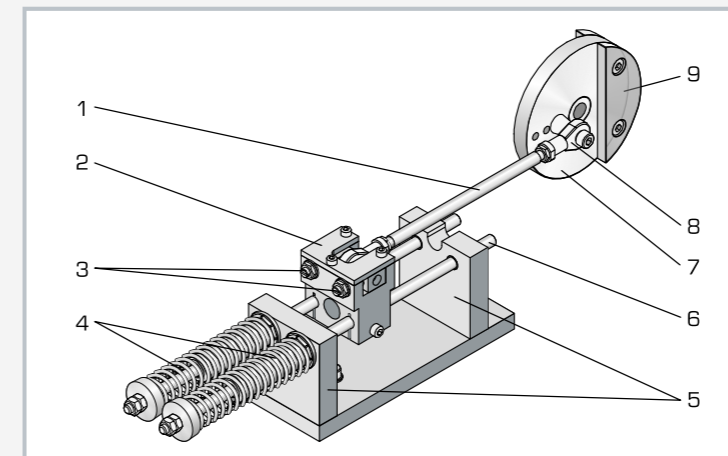
Le jeu d'accessoires dommages aux engrenages PT 500.15 permet étudier la transmission de moments alternés dans les jeux d'engrenages.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

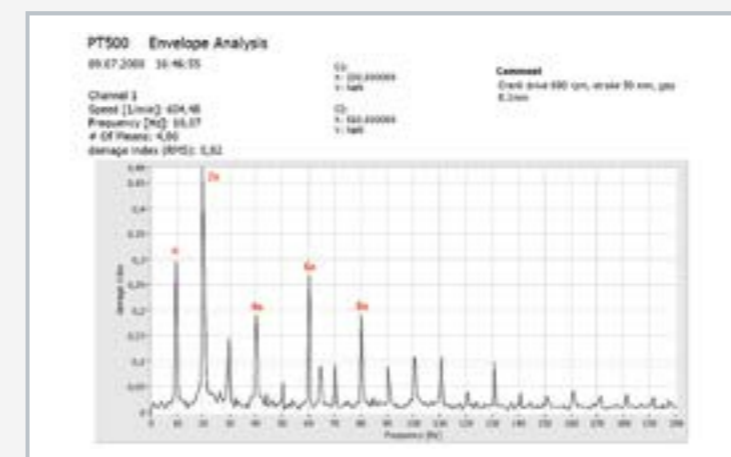
- analyse d'ordre des forces dues à la masse
- apprentissage d'analyse d'enveloppe
- influence du jeu de palier et des chocs
- évolution non uniforme des moments
- mesure d'usure de tiges de piston
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec PT 500.15
 - ▶ transmission d'un moment alterné dans des transmissions à engrenages
- avec PT 500.14 ou PT 500.15
 - ▶ influence de la présence de forces dues aux gaz sur le spectre de vibrations



1 bielle, 2 tête de piston, 3 ajustage du jeu de palier, 4 ressort de compression, 5 support de palier avec palier lisse, 6 tige de piston, 7 flasque de manivelle, 8 tête d'articulation, 9 masse de compensation



L'illustration montre le PT 500.16 avec PT 500, PT500.01 et PT 500.02.



Analyse d'enveloppe pour la commande à manivelle à 600tr/min: le 2^e degré 2n avec les ondes harmoniques 4n, 6n, 8n etc. est dominant

Spécification

- [1] analyse des vibrations de commandes à manivelle
- [2] commande à manivelle à course ajustable
- [3] des coussinets interchangeables permettent de simuler un jeu de palier
- [4] des ressorts simulent des forces dues aux gaz
- [5] peut être exploité avec le jeu d'accessoires PT 500.15 dommages aux engrenages
- [6] l'entraînement par courroie PT 500.14 ou l'engrenage PT 500.15 est nécessaire pour l'essai avec les forces dues aux gaz
- [7] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [8] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Course: 50 - 75 - 100mm

Masse de compensation totale

- 490g, calculée pour un fonctionnement avec une course de 50mm

Jeu de palier: 0...1mm

Ressort de compression

- longueur en relâchement: 170mm
- constante de ressort: R=0,55N/mm

Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 commande à manivelle
- 2 ressorts
- 2 masses de compensation
- 1 jeu d'outils
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.17**Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes****Description**

- observation et mesure des phénomènes de cavitation
- compréhension des conditions de la cavitation

Lors de la mesure de vibrations sur les pompes, la cavitation peut jouer un grand rôle.

Le jeu d'accessoires PT 500.17 permet de provoquer expérimentalement la cavitation et d'étudier son influence sur le spectre des vibrations.

Les principaux éléments du jeu d'accessoires sont une pompe centrifuge à un étage et un réservoir. La pompe et le réservoir sont reliés ensemble à l'aide de flexibles. Des vannes et des manomètres dans les tuyauteries d'aspiration et de refoulement permettent de régler les conditions de fonctionnement. Le corps de pompe en matière plastique transparente permet l'observation des phénomènes à l'intérieur de la pompe pendant le fonctionnement. Ceci permet d'observer la formation des bulles de cavitation. On recommande en particulier l'observation stroboscopique (le stroboscope n'est pas compris dans le jeu d'accessoires).

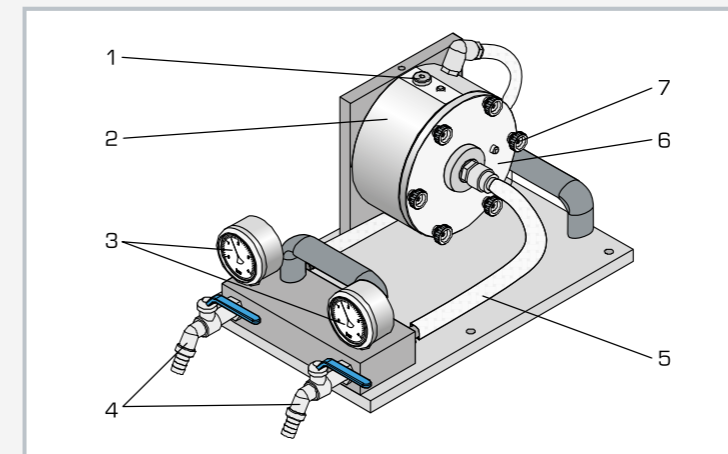
La pompe peut être entraînée au choix directement via un accouplement élastique du système de base PT 500 ou via la courroie d'entraînement PT 500.14.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

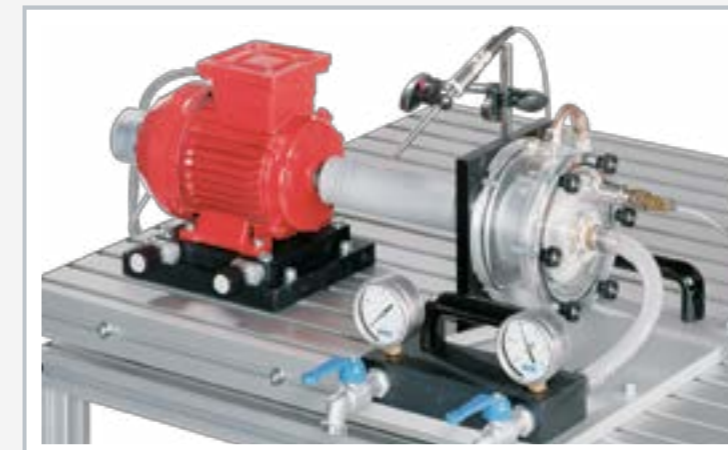
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

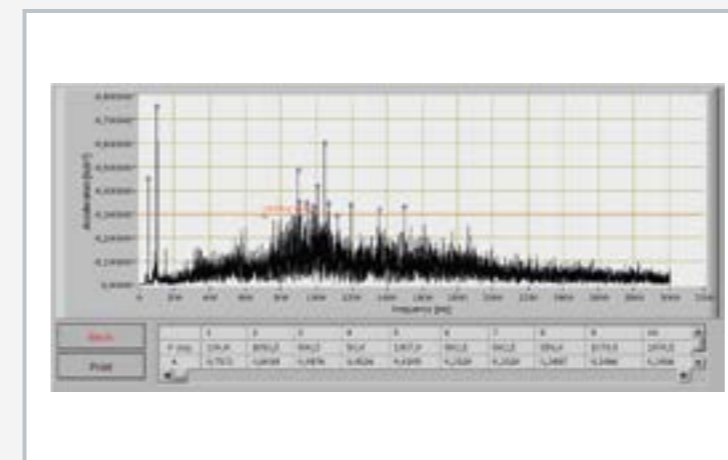
- observation et compréhension des phénomènes de cavitation d'une pompe centrifuge:
 - ▶ visuellement
 - ▶ au stroboscope (stroboscope comme accessoire)
 - ▶ par analyse de vibrations
- analyse des vibrations de fonctionnement sur une pompe centrifuge
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 vis d'évent du corps de pompe, 2 corps de pompe, 3 manomètre, 4 vanne, 5 flexible côté aspiration, 6 couvercle de corps de pompe, 7 vis moletée pour ouvrir le couvercle de corps



L'illustration montre le PT 500.17 avec PT 500 et PT 500.01.



Capture d'écran du logiciel: spectre de fréquences à la cavitation

Spécification

- [1] étude des conditions de cavitation dans les pompes
- [2] pompe centrifuge à un étage
- [3] manomètres et vannes à l'aspiration et au refoulement d'étranglement permettent la génération de la cavitation
- [4] corps de pompe transparent
- [5] entraînement de la pompe via un accouplement (PT 500) ou avec l'entraînement par courroie PT 500.14
- [6] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [7] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques**Pompe centrifuge**

- débit de refoulement max. à 3300min⁻¹: 17L/min
- hauteur de refoulement max. à 3300min⁻¹: 12m
- roue à 3 aubes
- vitesse de rotation min. pour la cavitation
 - ▶ env. 2240min⁻¹ (avec côté aspiration étranglé)

Réservoir

- matériau: HDPE
- capacité du réservoir: 20L

Manomètre

- côté refoulement: 0...4bar
- côté aspiration: -1...1,5bar

Lxlxh: 600x400x320mm (système de rangement)

Poids: env. 16kg

Liste de livraison

- 1 pompe
- 1 réservoir
- 1 jeu de flexibles
- 1 système de rangement avec tapis de caoutchouc
- 1 notice

PT 500.18**Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs****Description**

- mesure de vibrations sur des ventilateurs
- simulation de vibrations induites par les pales

Les mesures de vibrations jouent un grand rôle pour la surveillance de fonctionnement de ventilateurs et soufflantes. En plus des signaux habituels provenant de paliers et balourds, on peut mesurer les vibrations induites par les pales. Les vibrations sont provoquées par des champs d'écoulement hétérogènes.

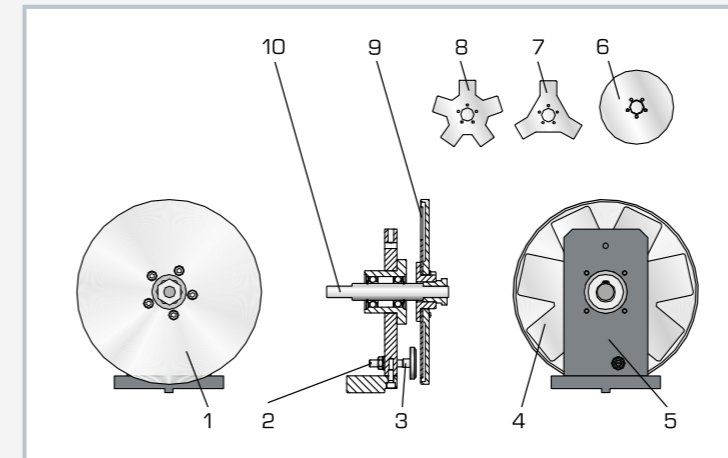
Dans le jeu d'accessoires PT 500.18, les vibrations sont excitées magnétiquement. Trois rotors de ventilateur avec des nombres de pales différents peuvent être étudiés. Une vitre protectrice recouvre les ventilateurs en rotation. Un volant placé en oblique sert à l'étude de l'effet gyroscopique. Le modèle de ventilateur peut au choix, comme dans la réalité, être entraîné directement via un accouplement élastique ou via la courroie d'entraînement PT 500.14.

Le jeu d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

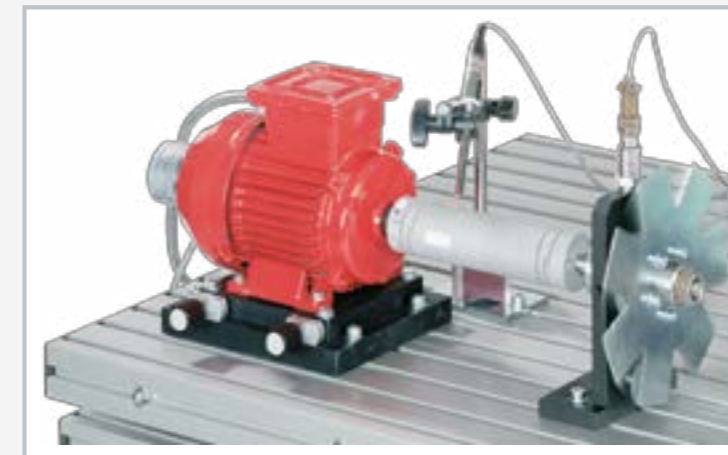
L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.

Contenu didactique/essais

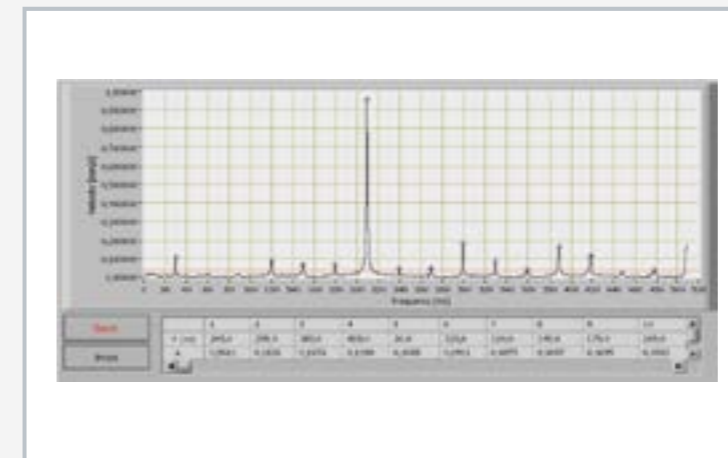
- mesure de vibrations sur des ventilateurs
- mesure de la fréquence de passage des pales
- identification dans le spectre des vibrations des vibrations induites par les pales
- effet du balourd dynamique sur le ventilateur
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur



1 vitre protectrice, 2 vis de réglage pour la distance aimant - pales, 3 aimant permanent, 4 rotor de ventilateur avec 7 pales, 5 support de palier, 6 volant de simulation de forces axiales, 7 rotor de ventilateur avec 3 pales, 8 rotor de ventilateur avec 5 pales, 9 pale de ventilateur, 10 arbre du ventilateur



L'illustration montre le PT 500.18 avec PT 500 et PT 500.01.



Spectre de fréquences pour un rotor de ventilateur avec 7 pales: fréquence de pale claire à 210Hz

Spécification

- [1] analyse des vibrations dans les ventilateurs
- [2] modèle de ventilateur axial avec pales
- [3] excitation magnétique de forces dans les pales
- [4] volant incliné appliqué pour étude d'effets gyroscopiques
- [5] 3 rotors de ventilateur avec nombres de pales différents
- [6] vitre protectrice pour les rotors de ventilateur
- [7] distance aimant - pale ajustable
- [8] peut être utilisé avec l'entraînement par courroie PT 500.14
- [9] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [10] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Rotor de ventilateur en tôle d'acier

- 3 pales
- 5 pales
- 7 pales
- diamètre: 204mm
- vitesse de rotation max.: 3000min⁻¹

Volant de protection, en aluminium
■ Ø=220mm

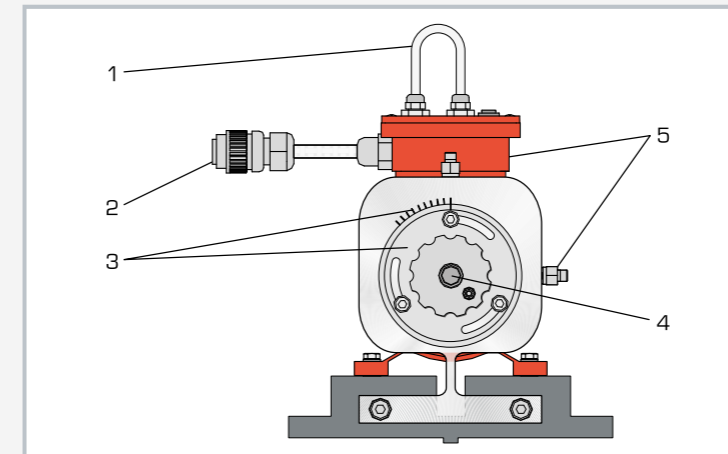
Lxlxh: 400x300x320mm (système de rangement)
Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 3 rotors de ventilateur
- 1 volant
- 1 support
- 1 vitre protectrice
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

PT 500.19**Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques****Contenu didactique/essais**

- influence de l'entrefer sur le comportement en vibration
- influence de l'asymétrie électromagnétique sur le comportement en vibration
- influence de la charge sur l'amplitude de vibration
- influence de l'entrefer sur les pertes électromagnétiques et le rendement
- influence de la vitesse de rotation sur les vibrations
- compréhension et interprétation des spectres de fréquences
- manipulation d'un analyseur de vibrations assisté par ordinateur
- avec une pince ampérométrique:
 - ▶ mesure du courant absorbé par phase



1 possibilité de mesure des 3 phases pour une pince ampérométrique, 2 raccordement à l'appareil d'affichage et de commande de PT 500, 3 chapeau de palier avec centrage ajustable et échelle, pour l'ajustage de l'entrefer, 4 arbre moteur, 5 adaptateur pour capteurs d'accélération



L'illustration montre le PT 500.19 avec PT 500, PT 500.01 et PT 500.05.

Spécification

- [1] analyse du comportement en vibration d'un moteur électrique
- [2] moteur asynchrone avec entrefer ajustable
- [3] champ magnétique asymétrique par enroulement commutable
- [4] vitesse de rotation variable via le convertisseur de fréquence de l'appareil de base
- [5] affichage de vitesse de rotation dans l'appareil d'affichage et de commande de l'unité de base PT 500
- [6] affichage de puissance dans l'appareil d'affichage et de commande de l'unité de base PT 500
- [7] jeu d'accessoires pour le système de diagnostic de machines PT 500
- [8] système de rangement empilable pour les pièces

Caractéristiques techniques

Moteur asynchrone à vitesse de rotation variable
 ■ plage de vitesses de rotation: 100...6000min⁻¹
 ■ puissance nominale: 370W

Excentricité de l'induit: 0...0,2mm

Lxlxh: 400x300x320mm (système de rangement)
 Poids: env. 11 kg

Liste de livraison

- 1 moteur électrique avec boîtier de connexion
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 notice

Description

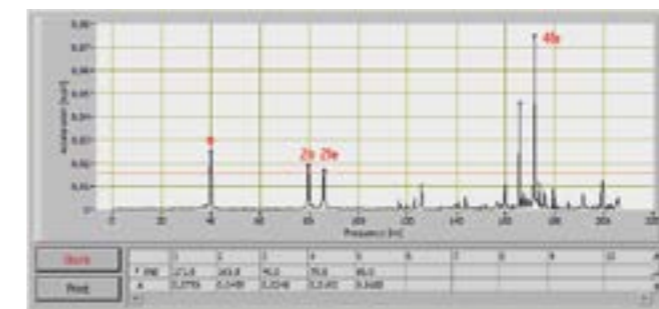
- **interaction système électromagnétique - mécanique**
- **entrefer asymétrique ajustable entre stator et rotor**
- **asymétrie électromagnétique par enroulement commutable**

Les moteurs asynchrones sont largement répandus comme entraînements. Ces moteurs peuvent générer des vibrations. Dans le cas d'un entrefer asymétrique, les forces magnétiques tournantes génèrent des vibrations de torsion et de flexion. Il en va de même en cas de panne d'une partie des enroulements électriques. Le champ magnétique asymétrique génère alors des vibrations mécaniques.

Dans le jeu d'accessoires PT 500.19, des flasques paliers mobiles permettent d'ajuster un entrefer asymétrique. Un enroulement commutable génère une asymétrie électromagnétique. L'appareil d'affichage et de commande du système de base PT 500 alimente le moteur asynchrone et permet l'ajustage de la vitesse de rotation. Le moteur est chargé à l'aide du dispositif de freinage PT 500.05.

Le kit d'accessoires est utilisé avec le système de base de diagnostic de machines PT 500 et monté sur la plaque de base de celui-ci.

L'analyseur de vibrations assisté par ordinateur PT 500.04 est nécessaire pour la mesure et l'interprétation de l'essai. Il comprend tous les capteurs, un amplificateur de mesure et un logiciel d'analyse, nécessaires pour étudier les phénomènes vibratoires.



Spectre typique d'un moteur électrique: vibrations en fonction de la fréquence de rotation, avec n , $2n$ à cause du balourd; vibrations en fonction de la fréquence industrielle, avec $2f_e$, $4f_e$ à cause des forces magnétiques

Conception mécanique

Introduction	
Aperçu Conception mécanique	254

Dessin industriel	
Aperçu Dessin industriel et modèles en coupe	256
TZ 100 Dessin industriel: représentation en trois vues	258
TZ 200.61 Dessin industriel: composants à symétrie de rotation	260
TZ 200.02 Dessin industriel: pièce en fonte	262
TZ 200.08 Dessin industriel: cliquet	263
TZ 300 Montage d'une presse à bras	264
TZ 200.11 Montage d'un dispositif de pliage	266
TZ 200.71 Montage d'une cisaille à levier	268

Modèles en coupe	
GL 300.01 Modèle en coupe: engrenage à vis sans fin	270
GL 300.02 Modèle en coupe: engrenage à roues coniques	271
GL 300.03 Modèle en coupe: engrenage droit	271
GL 300.04 Modèle en coupe: engrenage droit biétagé	271
GL 300.05 Modèle en coupe: engrenage planétaire	271
GL 300.06 Modèle en coupe: mécanisme de réglage à courroie trapézoïdale	271
GL 300.07 Modèle en coupe: commande à réglage mécanique	271
GL 300.08 Modèle en coupe: embrayage à disques multiples	271
GL 300.12 Modèle en coupe: palier à chapeau	271

Éléments de machine – raccords	
Aperçu Éléments de machine	272
MG 901 Kit de vis et écrous	274
MG 903 Kit de freins de vis	275
MG 905 Kit de filets	276
TM 320 Contrôle d'assemblages par vis	277
TM 310 Contrôle de filetage	278

Éléments de machine – paliers	
MG 911 Kit de paliers à roulement	279

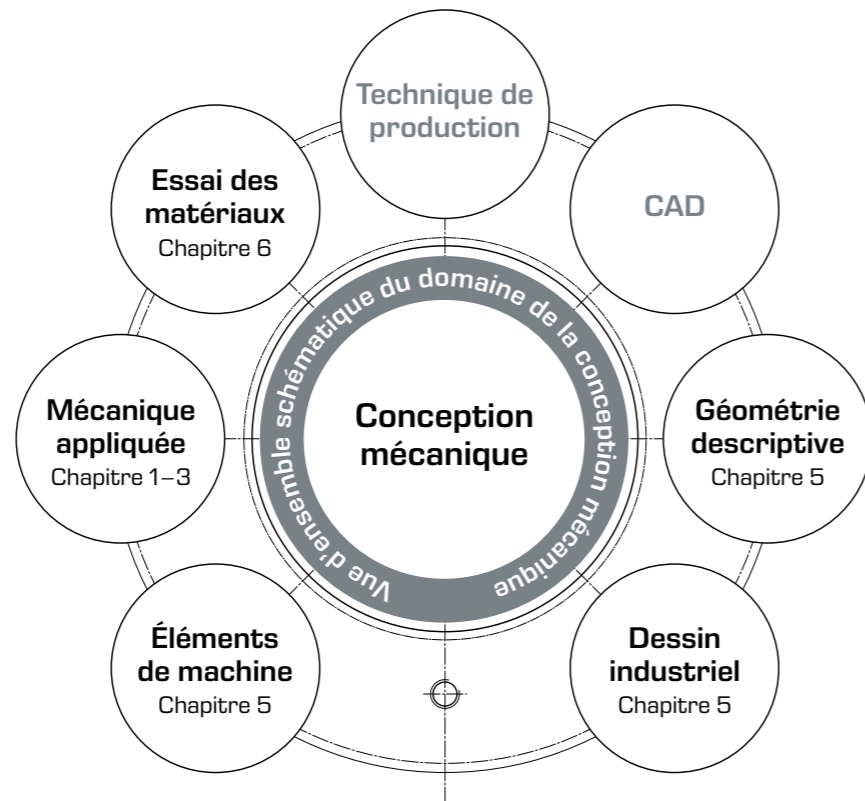
Éléments de machine – éléments de transmission	
GL 100 Principe des engrenages	280
GL 110 Commande à came	281
TM 123 Engrenage droit	282
TM 124 Engrenage à vis sans fin	283
TM 125 Treuil	284
TM 220 Entraînement par courroie et frottement de courroie	286
GL 410 Montage d'entraînements simples	288
GL 420 Montage d'entraînements combinés	290
GL 430 Montage de boîtes de vitesse	292
GL 200 Engrenage d'un tour	294
AT 200 Détermination du rendement des engrenages	296

Exercices de montage	
Aperçu Exercices de montage	298
MT 170 Montage d'un arbre avec paliers lisses	300
MT 171 Montage d'un palier lisse hydrodynamique	302
MT 152 Montage d'un engrenage droit	304
MT 110.02 Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin	306
MT 172 Alignement d'entraînements, d'arbres et d'engrenages	308
MT 190 Montage: machine d'essais de matériaux	310
MT 190.01 Montage: acquisition de données pour essais de matériaux	312

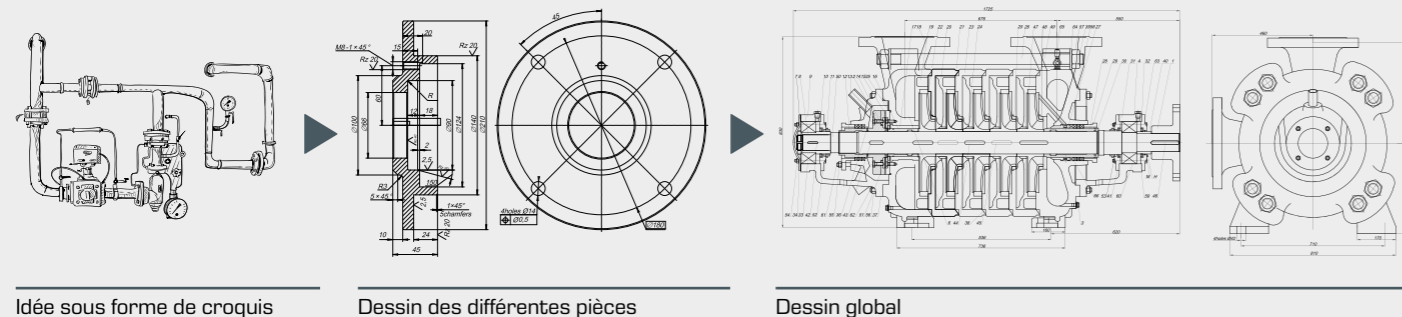
Conception mécanique

La construction consiste à décrire de manière exhaustive des produits techniques de manière à permettre leur fabrication. Cela inclut les réflexions et concepts avec croquis et calculs, les premières ébauches, mais aussi les listes de pièces et les dessins avec indications de matériaux, de procédures d'usinage, de dimensions et de tolérances. Les principes de base applicables à la construction sont enseignés dans le cours de conception mécanique. Dans la formation technique, la conception mécanique est un champ d'apprentissage essentiel et complexe.

Un cheminement approfondi à travers les thématiques de base que sont la statique, la résistance des matériaux et la dynamique, les éléments de machine, l'essai des matériaux ainsi que la géométrie descriptive et le dessin industriel, permet de préparer les étudiants durant leurs études ou leur apprentissage de manière optimale à leur futur métier.



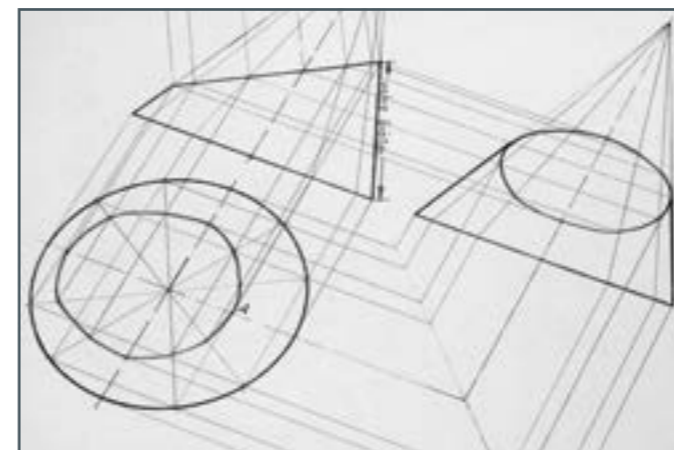
De l'idée d'un produit jusqu'à sa représentation sous la forme d'un dessin industriel conforme en vue de la production



Procédure de construction

Étape de travail	Activité	Résultat du travail
Réflexion	<ul style="list-style-type: none"> ■ description de la problématique ■ collecte d'informations ■ élaboration de la liste des exigences 	Cahier des charges
Conception	<ul style="list-style-type: none"> ■ conceptualisation et formulation du problème ■ description du fonctionnement ■ recherche de principes de solutions ■ étude des différentes solutions ■ détermination d'une solution de principe 	Schéma de câblage, organigramme, croquis à la main ou dessin à échelle approximative
Ébauche	<ul style="list-style-type: none"> ■ tracé de l'ébauche dans ses grandes lignes ■ réalisation de calculs ■ conception de la géométrie basée sur la solution de principe ■ sélection des matériaux ■ sélection des éléments de machine, des pièces normalisées et des pièces de fabricants tiers requis pour le fonctionnement ■ création du dessin de l'ébauche avec les données concernant les composants et éléments de machine, puis calcul de la résistance ■ définition des modules 	Calculs, dessin de l'ébauche
Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> ■ création des dessins des différentes pièces ■ élaboration des listes de pièces ■ audit des possibilités de fabrication et des coûts définitifs ■ détermination des consignes de fabrication et de montage ■ rédaction de la notice d'utilisation et de la documentation 	Dessins industriels, listes de pièces, notices de montage

Formation en conception mécanique



Au début de la formation, l'enseignement est centré sur les principes de base de la conception mécanique: géométrie descriptive, dessin industriel et normalisation. Les éléments de machine tels que vis, arbres, paliers ou roues dentées sont

ensuite traités, l'objectif étant d'assimiler les fonctions et le rôle de ces composants. Ces connaissances sont alors suffisantes pour pouvoir résoudre des exercices de conception mécanique.

Dessin industriel et modèles en coupe



Les dessins industriels donnent une représentation très abstraite des composants ou appareils, avec des indications très précises. Des éléments géométriques et graphiques, tels que lignes et symboles, ainsi que des signes alphanumériques tels que chiffres et lettres, sont utilisés pour aider à décrire un objet tridimensionnel dans deux dimensions.

Savoir lire et comprendre les dessins industriels est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée.

Cours de dessin industriel

Le cours de dessin industriel est constitué de deux modules. Le premier module est le développement de la représentation spatiale avec des modèles géométriques. Le second module propose une mise en application des règles et normes de la communication technique avec une sélection de composants, modèles en coupe et exercices de montage, qui aident à comprendre les fonctions et le montage. L'un des principaux objectifs didac-

tiques de ce cours est de représenter des cas d'application concrets, et d'utiliser des pièces à usiner réelles et des pièces normalisées. Ainsi, il s'agit de développer les aptitudes dans le domaine de la communication technique. Les exercices de dessin à proprement parler sont ensuite réalisés en s'appuyant sur des technologies très étendues.

Jeux de modèles pour le développement de la représentation spatiale



Modèle monté dans le coin d'une pièce avec des représentations pliées

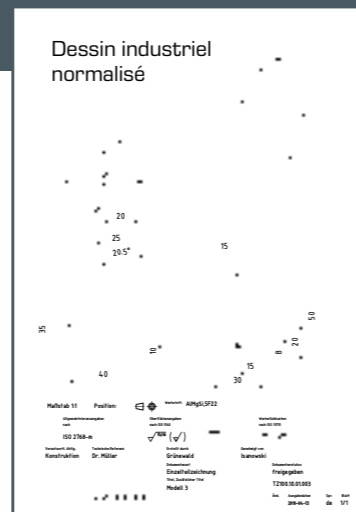
La représentation d'un corps et le pliage, ou la modification, de la direction du projet sont des exercices difficiles pour les étudiants. Cela requiert des facultés d'abstraction et de représentation spatiale très développées. Mais ces facultés peuvent être développées par le biais d'exercices adéquats. Les modèles géo-

métriques de GUNT ont été conçus pour l'enseignement de la représentation spatiale. Ces facultés sont indispensables pour être en mesure d'élaborer des dessins en 3D et d'interpréter, c'est-à-dire lire les dessins et esquisses.

Composants et exercices de montage pour l'enseignement des règles et normes en communication technique

L'élaboration du dessin industriel, à la main ou assistée par ordinateur, suit des règles strictes ou normes de dessin qui éliminent toute ambiguïté. Les normes de dessin NF (normes françaises) s'appuient sur les normes et recommandations de l'organisation internationale de normalisation ISO, et sont donc valables à l'international. Les normes de dessin officielles appelées DIN, ISO ou EN ISO incluent notamment:

- la désignation et l'utilisation systématique de types de lignes, hachures et couleurs, ainsi que la représentation de vues et coupes
- la représentation isométrique et dimétrique, la représentation simplifiée
- l'indication des mesures, l'identification des tolérances
- les formats des feuilles de dessin, champs de texte, police normalisée
- les ajustements, termes de base des tolérances et ajustements
- les caractéristiques de surface

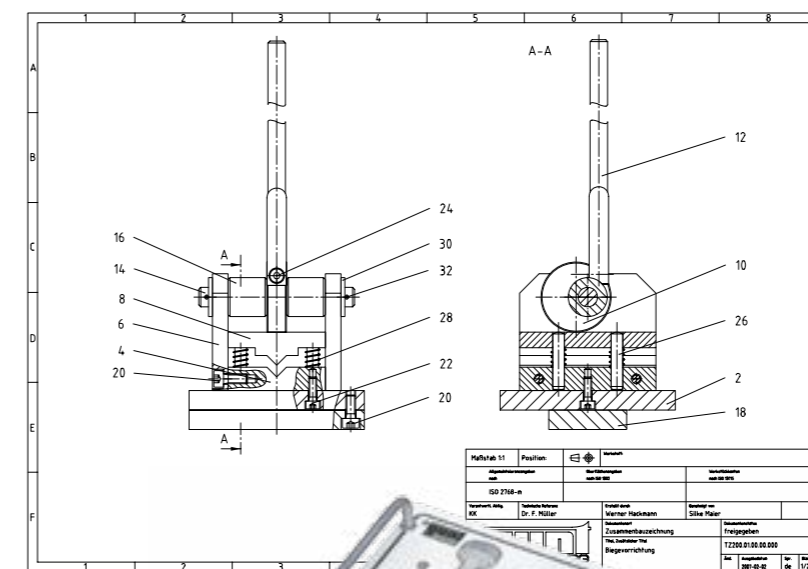


Modèles en coupe et exercices de montage pour la démonstration des fonctions

Les exercices de montage permettent de faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants, comme le montage et la production. De cette manière, les contenus didactiques, à la fois théoriques et pratiques, aident à développer l'aptitude à lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas.

La compréhension réelle passe par la pratique, et donc par l'élaboration de ses propres dessins.

Les animations techniques, comme les modèles en coupe, sont remarquables pour la représentation des processus et des fonctions. Pour ces modèles en coupe, GUNT utilise des composants actuels originaux. Les fonctions de mouvement et de commutation sont préservées.



Dessin global

Les composants et exercices de montage de GUNT permettent d'enseigner:

- la réalisation de dessins industriels normalisés
- la reconnaissance des représentations normalisées
- l'appréhension des relations existant entre les différents composants

La lecture de dessins est expliquée au moyen:

- de dessins complets et de vues éclatées
- du dessin de pièces moulées brutes de coulée, de dessins de production

Les types de dessin, ainsi que leurs objets et contenus, sont expliqués de manière concrète du point de vue normatif.



Presse à bras entièrement montée

TZ 100**Dessin industriel: représentation en trois vues****Description**

- **cours GUNT: dessin industriel**
- **jeu de modèles pour le développement de la représentation spatiale**
- **principes de base de la représentation dans trois perspectives**

Afin de pouvoir décrire de manière satisfaisante un corps en 3D et disposer ainsi des données assurant sa reconstruction exacte et la reproductibilité de sa production, on a en règle générale besoin de plusieurs vues de ce corps. À cet effet, le corps est représenté en trois vues, la vue avant, la vue de côté, et la vue de dessus ou de dessous. La représentation suit des règles bien définies par des normes. Même lorsqu'il s'agit d'un corps simple, la représentation en trois vues requiert, de la part des étudiants et apprentis, de grandes facultés d'abstraction et de représentation spatiale. Cette faculté est indispensable pour être en mesure d'élaborer mais aussi d'interpréter les dessins ou croquis industriels; elle est enseignée à l'aide de modèles géométriques.

Le jeu de modèles TZ 100 représente un concept didactique d'introduction au domaine de la "Géométrie descriptive". Un coin de local, composé des trois vues en plexiglas, accueille les modèles. La vue correspondante est placée dans

chaque perspective du coin, ce qui permet de comparer directement le modèle (pièce à usiner) et le dessin.

La liste de livraison comprend dix modèles au total, chacun présentant un degré de difficulté différent. L'un des modèles est en plexiglas afin de favoriser la compréhension concernant les arêtes invisibles. Les autres modèles sont en aluminium.

Les modèles sont usinés avec précision, ce qui permet de réaliser également des exercices de mesure. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement.

Dans l'idéal, il est souhaitable que les exercices soient réalisés de manière autonome par les élèves. Ils peuvent travailler par équipes de deux avec un jeu de modèles.

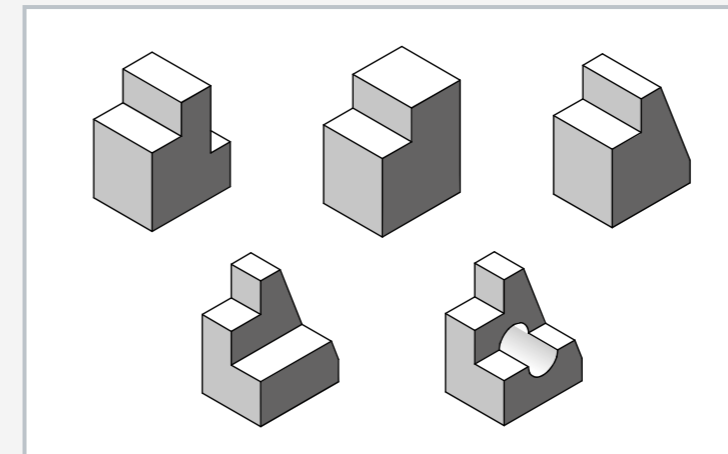
Un jeu complet de dessins est inclus dans la documentation didactique. Il comprend, pour chaque modèle, la représentation dans trois perspectives, la représentation en 3D ainsi que le dessin de production.

Contenu didactique/essais

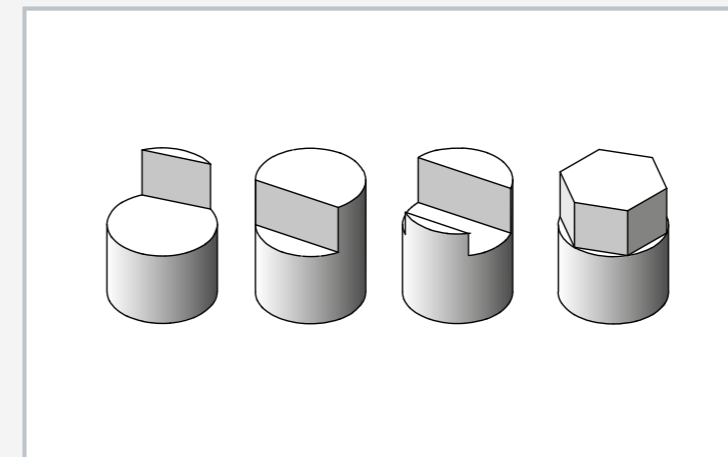
- introduction à la représentation en trois vues comme base du dessin industriel
- développement pas à pas de la pensée spatiale: de la situation concrète à la représentation abstraite dans un dessin industriel
- exercices de mesure



Coin composé de trois vues en plexiglas, avec dessin inséré et un modèle prismatique



Modèles prismatiques



Modèles cylindriques

Spécification

- [1] jeu de modèles du domaine de la "géométrie descriptive" pour le développement de la représentation spatiale
- [2] introduction au dessin industriel
- [3] l'usinage précis des modèles permet la réalisation d'exercices de mesure
- [4] coin composé de trois vues en plexiglas
- [5] 9 modèles géométriques en aluminium, de formes cylindriques et prismatiques
- [6] 1 modèle en plexiglas
- [7] système de rangement pour les pièces

Caractéristiques techniques

5 modèles prismatiques
■ Lxlxh: 40x30x50mm

4 modèles cylindriques
■ dxh: 40x50mm

1 modèle transparent
■ Lxlxh: 40x30x50mm

3 surfaces en plexiglas
■ Lxlxh: 100x100x100mm

Lxlxh: 335x240x71 mm (système de rangement)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 jeu de 10 modèles géométriques
- 3 surfaces en plexiglas pour la construction d'un coin
- 1 tige de support pour la fixation des modèles
- 1 perforatrice
- 1 documentation didactique, jeu complet de dessins inclus

TZ 200.61**Dessin industriel: composants à symétrie de rotation****Description**

- cours GUNT: dessin industriel
- partie sur le dispositif de perçage et de la pièce à usiner
- introduction aux vues en coupe

Être en mesure de lire et comprendre des dessins industriels complexes est essentiel. Cette aptitude est au moins aussi importante que celle de savoir dessiner par soi-même; c'est pourquoi le cours de GUNT s'attache à la développer. Les cas d'application concrets, ainsi que l'utilisation de pièces à usiner réelles et de pièces normalisées, visent à développer l'aptitude à la communication technique. Les exercices de dessin à proprement parler sont ensuite réalisés en s'appuyant sur des technologies très étendues.

TZ 200.61 offre une introduction à la représentation graphique de composants à symétrie de rotation et à la représentation de coupes. L'élément principal est un dispositif de perçage permettant de percer une pièce à usiner, ici un chapeau de palier.

Un quart du corps de base du dispositif de perçage a été découpé. Cela permet de mettre en évidence les notions de "coupe" et "demi-coupe". Le quart découpé est également présent sur la plaque de base, de sorte que le thème difficile des vues en coupe peut être enseigné de manière intuitive.

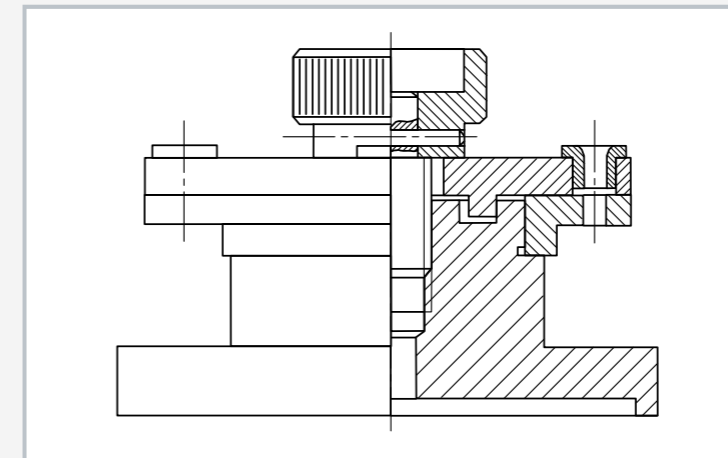
Toutes les pièces sont disposées de manière claire sur une plaque de base. Une vue éclatée imprimée sur la plaque de base permet d'avoir une vue de l'ensemble.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision, et sont donc aussi adaptées aux exercices de mesure.

Une utilisation en cours sous la forme d'exercices est recommandée. Il est judicieux de disposer d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.

Contenu didactique/essais

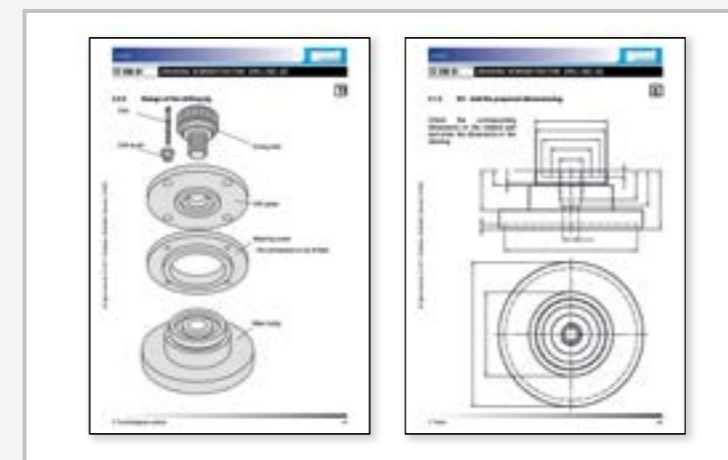
- introduction à la représentation graphique de composants à symétrie de rotation
- familiarisation avec les vues en coupe: coupe pleine et demi-coupe
- cotation de pièces tournées et filets
- aspects concernant la technique de fabrication
 - ▶ dispositifs auxiliaires de perçage et de meulage
 - ▶ usinage complet sur machines-outils modernes
 - ▶ tolérances, ajustements, données sur les surfaces
- classement de la pièce (chapeau de palier) dans un contexte technologique plus large



Vue en coupe du dispositif de perçage avec la pièce à usiner à percer (chapeau de palier)



Dispositif de perçage monté avec pièce à usiner: 1 vis de fixation, 2 plaque de perçage, 3 canon de perçage, 4 pièce à usiner (chapeau de palier), 5 corps de base



Documentation didactique

Spécification

- [1] cours GUNT sur le dessin industriel
- [2] exemple de composants à symétrie de rotation: dispositif de perçage pratique pour l'usinage d'une pièce à usiner (chapeau de palier)
- [3] corps de base du dispositif de perçage préparé comme demi-coupe
- [4] toutes les pièces du dispositif de perçage sont fabriquées en aluminium avec précision
- [5] chapeau de palier comme pièce à usiner en PVC
- [6] plaque de base avec vue éclatée imprimée
- [7] systèmes de rangement pour les pièces
- [8] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

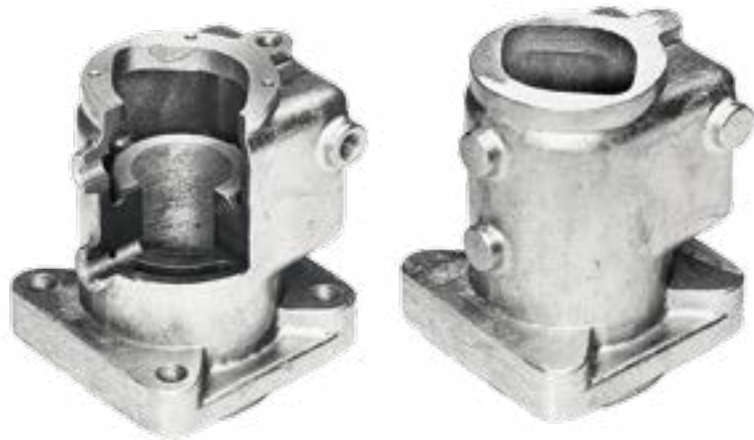
Lxlx: 420x300x75mm (système de rangement)
Poids: env. 2kg

Liste de livraison

- 1 plaque de base avec les différentes pièces du dispositif de perçage
- 1 pièce à usiner (chapeau de palier)
- 1 jeu de pièces standards (canon de perçage, goupille cylindrique, joint torique)
- 1 documentation didactique

TZ 200.02

Dessin industriel: pièce en fonte



Pièce moulée usinée mécaniquement (à gauche) et brute de coulée (à droite)

Description
■ cours GUNT: dessin industriel
■ de la pièce moulée brute de coulée à la pièce de machine usinée

Un logement de palier en aluminium moulé en sable est utilisé comme exemple pour traiter de manière détaillée, et proche de la pratique, le thème des pièces moulées. Le TZ 200.02 comprend une pièce moulée brute de coulée, produite et nettoyée dans une fonderie, et une pièce finie du même logement de palier, qui a été usinée mécaniquement après le moulage.

La pièce de machine étudiée a été en outre préparée comme modèle en coupe. Ces deux composants permettent d'expliquer le processus depuis le façonnage brut jusqu'à l'usinage par enlèvement de copeaux. Les conditions d'apprentissage sont optimales lorsque l'on dispose d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.

Contenu didactique/essais

- dessin industriel
 - ▶ dessins de pièces moulées et leurs particularités: surépaisseurs pour l'usinage, dépouilles de démoulage, retraits, représentations en coupe
 - ▶ de la pièce moulée à la pièce finie: cotation pour la fabrication et conformité à la norme, en vue de l'usinage mécanique subséquent
- technologie
 - ▶ production de pièces moulées en sable, procédés de fabrication
 - ▶ sélection d'outils et de machines, exercices de mesure des longueurs
 - ▶ éléments de machine et leurs fonctions

Spécification

- [1] composant du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] représentations par le dessin: de la pièce moulée brute de coulée à la pièce de machine usinée finie
- [3] 2 modèles qui mettent en évidence l'évolution lors du processus de fabrication: 1 pièce moulée brute de coulée, 1 modèle en coupe
- [4] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

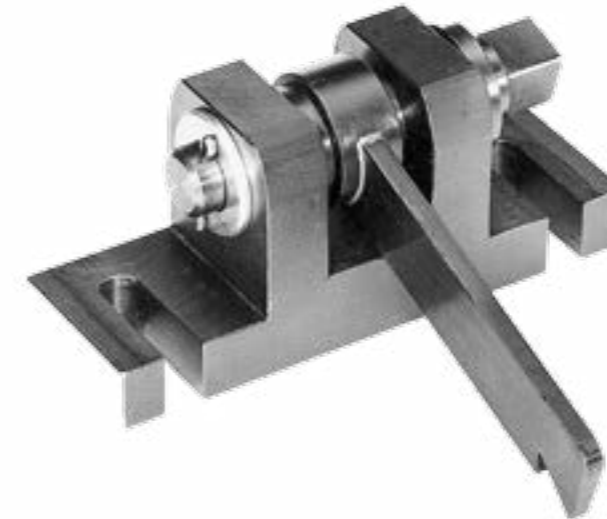
Lxlxh: 100x100x125mm (par modèle)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 2 modèles
- 1 documentation didactique

TZ 200.08

Dessin industriel: cliquet

**Contenu didactique/essais**

- lecture et compréhension des dessins industriels et des listes de pièces
- représentation normalisée pour la fabrication de pièces détachées: cotation, indications de surfaces et de tolérances
- aspects technologiques: sélection de matériaux, fonctions, procédés de fabrication, planification du travail et bien d'autres encore

Spécification

- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] modèle fonctionnel de cliquet fidèle à la pratique
- [3] toutes les pièces de fabrication sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brunie
- [4] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

Lxlxh: 130x100x60mm
Poids: env. 1kg

Liste de livraison

- 1 cliquet
- 1 documentation didactique

Description
■ cours GUNT: dessin industriel
■ jeu de dessins complet conforme en vue de la production

Le modèle de cliquet fait partie du cours de GUNT d'introduction au dessin industriel. Partant d'un composant concret, l'approche pédagogique consiste à travailler de manière systématique sur des contenus didactiques transférables.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision, et sont donc aussi adaptées aux exercices de mesure. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage, afin de prévenir tout phénomène de corrosion.

Une utilisation en cours sous la forme d'exercices est recommandée. Il est judicieux de disposer d'un jeu de modèles pour deux à trois élèves.

TZ 300

Montage d'une presse à bras



Description

- cours GUNT: dessin industriel
- presse à bras sous forme de kit d'assemblage
- exercice pour cours interdisciplinaire

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

Le kit d'assemblage TZ 300 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques des éléments de machine, du processus de montage et en particulier de la technique de fabrication.

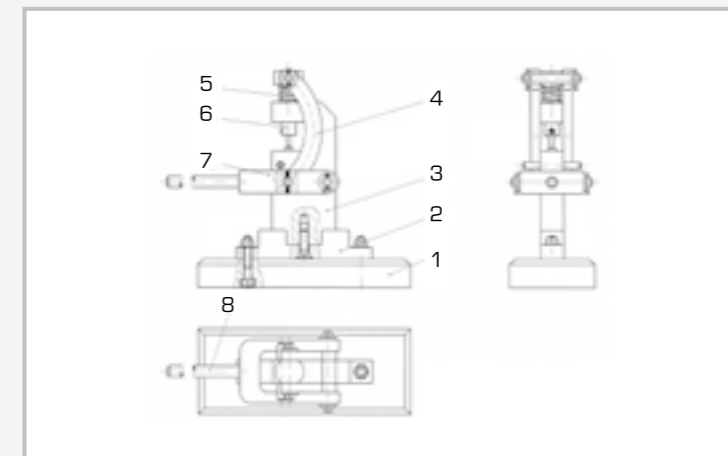
Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces permettant de monter une presse à bras fonctionnelle. Les éléments sont représentés de manière claire sur une plaque de base. Toutes les pièces et les dessins correspondants respectent les normes et critères en vigueur dans la pratique.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision à partir de matériaux originaux, et avec les tolérances et surfaces usuelles en génie mécanique. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage, afin de prévenir tout phénomène de corrosion. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, ce qui permet de gagner de la place.

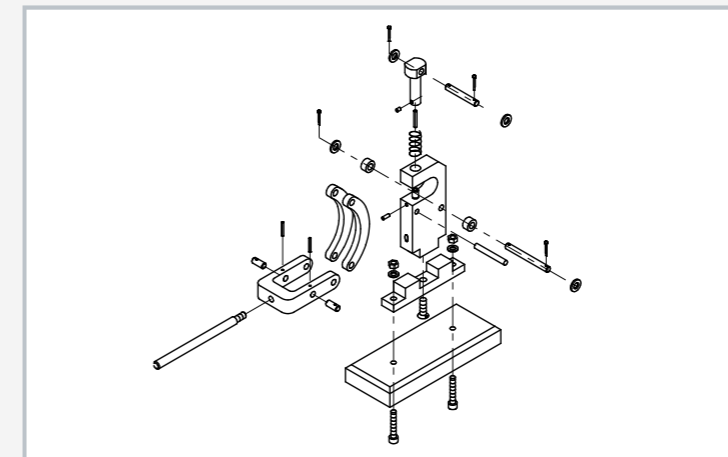
Dans l'idéal, un kit d'assemblage peut être utilisé pour la réalisation d'exercices pratiques en cours par groupes de deux à trois élèves.

Contenu didactique/essais

- introduction au dessin industriel
 - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
 - ▶ représentation en trois vues
 - ▶ représentation en coupe
 - ▶ types de dessins
 - ▶ représentation en 3D
 - ▶ listes de pièces
 - ▶ cotation
 - ▶ indications de surfaces et de tolérances
 - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
 - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
 - ▶ planification et description des processus
 - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
 - ▶ mesures de longueurs
 - ▶ mesures d'angles
- procédés de fabrication
 - ▶ exemples de travaux de fabrication manuelle et de production sur des machines-outils



1 plaque, 2 socle, 3 montant, 4 partie coudée, 5 ressort de compression, 6 boulon de pression, 7 fourche, 8 poignée



Vue éclatée de la presse à bras



Groupes fonctionnels de la presse à bras: fourche, boulon de pression, corps de base

Spécification

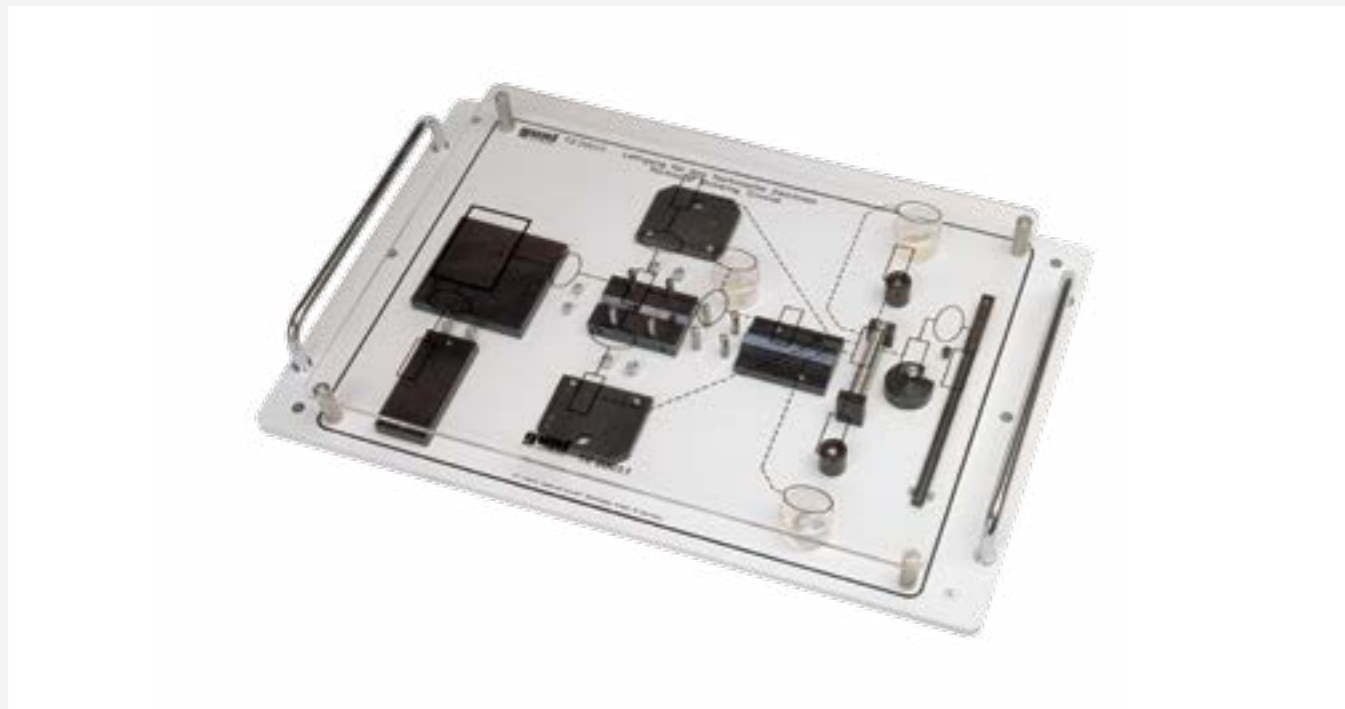
- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'une presse à bras fonctionnelle
- [3] toutes les pièces de fabrication de la presse à bras sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brunie
- [4] système de rangement pour les pièces
- [5] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [6] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

Lxlxh: 420x300x70mm (système de rangement)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces de la presse à bras
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 jeu de petites pièces
- 1 documentation didactique

TZ 200.11**Montage d'un dispositif de pliage****Description**

- cours GUNT: dessin industriel
- dispositif de pliage sous forme de kit d'assemblage
- exercice pour cours interdisciplinaire

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

Le kit d'assemblage TZ 200.11 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques de planification et d'exécution du montage, et de réaliser des exercices de mesure. Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces permettant de monter un dispositif de pliage fonctionnel.

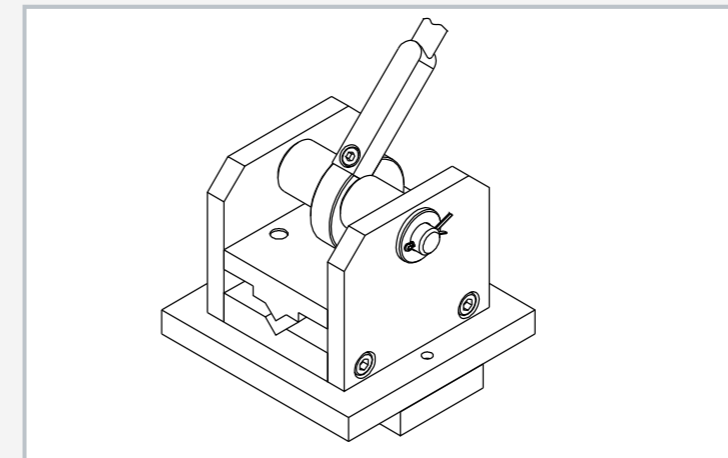
Les pièces sont groupées sur la plaque de base, de manière à montrer clairement les différentes séquences de montage. Au-dessus de la plaque de base, se trouve une plaque de couverture transparente avec la représentation graphique de la structure de montage. Sur le graphique, les pièces normalisées et les pièces de fabrication sont symbolisées, et l'on distingue clairement les assemblages fixes des assemblages mobiles. Toutes les pièces et les dessins correspondants respectent les normes et critères en vigueur dans la pratique.

Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision à partir de matériaux originaux, et avec les tolérances et surfaces usuelles en génie mécanique. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage afin de prévenir tout phénomène de corrosion. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, ce qui permet de gagner de la place.

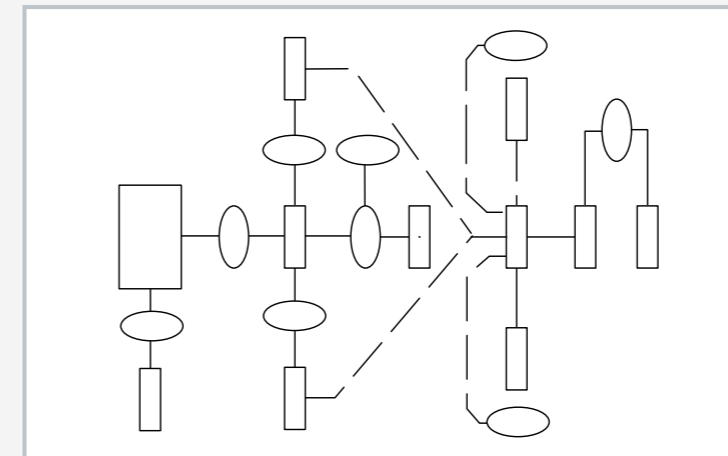
Dans l'idéal, un kit d'assemblage peut être utilisé pour la réalisation d'exercices pratiques en cours par groupes de deux à trois élèves.

Contenu didactique/essais

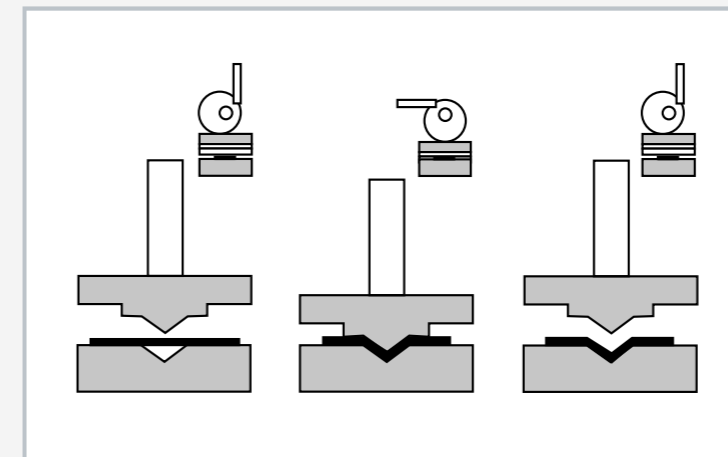
- introduction au dessin industriel
 - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
 - ▶ représentation en trois vues
 - ▶ représentation en coupe
 - ▶ types de dessins
 - ▶ représentation en 3D
 - ▶ listes de pièces
 - ▶ cotation
 - ▶ indications de surfaces et de tolérances
 - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
 - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
 - ▶ planification et description des processus
 - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
 - ▶ mesures de longueurs
 - ▶ mesures d'angles



Représentation en 3D du dispositif de pliage monté



Représentation graphique de la structure de montage



Opération de pliage

Spécification

- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'un dispositif de pliage fonctionnel avec actionnement par excentrique
- [3] toutes les pièces de fabrication sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brunie
- [4] structure de montage sur plaque de couverture transparente
- [5] système de rangement pour les pièces
- [6] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [7] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

Lxlxh: 540x350x75mm (système de rangement)
Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces du dispositif de pliage
- 1 plaque de couverture avec structure de montage
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 documentation didactique

TZ 200.71

Montage d'une cisaille à levier



Description

- cours GUNT: dessin industriel
- cisaille à levier sous forme de kit d'assemblage
- exercice pour cours interdisciplinaire

Dans le domaine technique, le dessin est le moyen de communication et d'information le plus important. Être capable de lire et comprendre les dessins, graphiques et schémas, est essentiel dans l'acquisition des compétences professionnelles, quelle que soit la spécialité technique étudiée. Faire le lien entre la communication technique et les procédés techniques correspondants comme la structure du montage, les plans de travail et la production, est également important.

Le kit d'assemblage TZ 200.71 est un projet interdisciplinaire orienté sur la pratique. En plus du champ d'apprentissage premier "Dessin industriel", il est possible de traiter les thématiques du processus de montage et en particulier de la technique de fabrication.

Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces permettant de monter une cisaille à levier fonctionnelle.

Les pièces sont groupées sur la plaque de base de manière à montrer clairement les différentes séquences de montage. Au-dessus de la plaque de base, se trouve une plaque de couverture transparente avec la représentation graphique de la structure de montage. Sur le graphique, les pièces normalisées et les pièces de fabrication sont symbolisées, et l'on distingue clairement les assemblages fixes des assemblages mobiles. Toutes les pièces et les dessins correspondants respectent les normes et critères en vigueur dans la pratique.

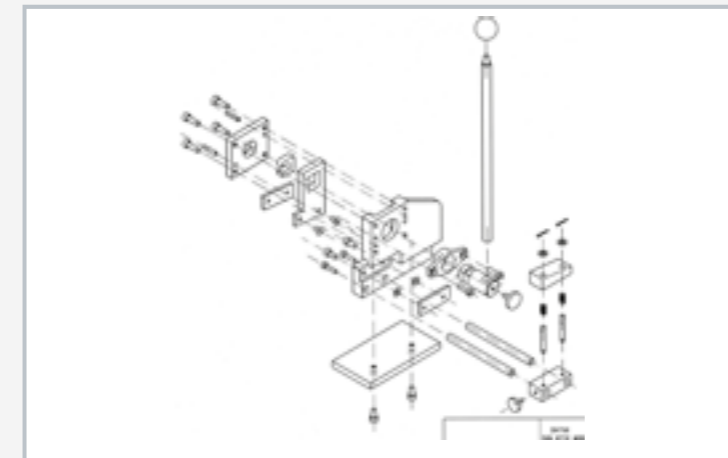
Les pièces de fabrication ont été usinées avec précision à partir de matériaux originaux et avec les tolérances et surfaces usuelles en génie mécanique. Les surfaces des pièces de fabrication ont subi un brunissage afin de prévenir tout phénomène de corrosion.

Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et protégées dans un système de rangement. Les systèmes de rangement sont empilables, ce qui permet de gagner de la place.

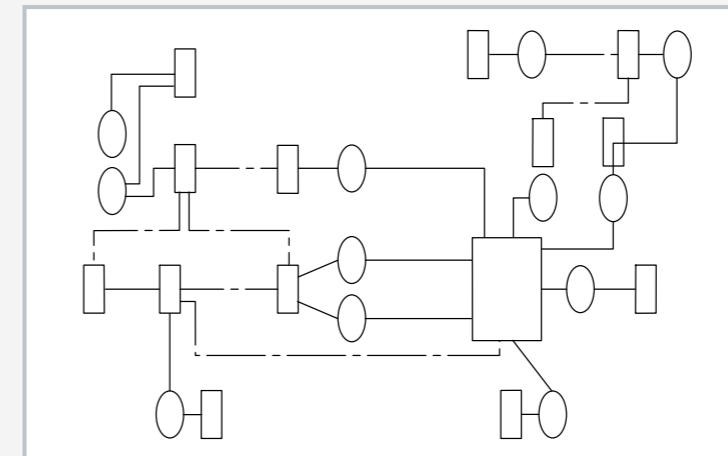
Dans l'idéal, un kit d'assemblage peut être utilisé pour la réalisation d'exercices pratiques en cours par groupes de deux à trois élèves.

Contenu didactique/essais

- introduction au dessin industriel
 - ▶ lecture et compréhension des dessins industriels
 - ▶ représentation en trois vues
 - ▶ représentation en coupe
 - ▶ types de dessins
 - ▶ représentation en 3D
 - ▶ listes de pièces
 - ▶ cotation
 - ▶ indications de surfaces et de tolérances
 - ▶ distinction entre pièces normalisées et pièces de fabrication
 - ▶ indications de matériaux
- planification et exécution d'opérations de montage simples
 - ▶ planification et description des processus
 - ▶ évaluation des résultats
- exercices de mesure
 - ▶ mesures de longueurs
 - ▶ mesures d'angles
- procédés de fabrication
 - ▶ exemples de travaux de fabrication manuelle et de production sur des machines-outils



Vue éclatée de la cisaille à levier



Représentation graphique de la structure de montage



Groupes fonctionnel de la cisaille à levier: corps de cisaille, corps de base, arrêt

Spécification

- [1] partie du cours de GUNT sur le dessin industriel
- [2] kit d'assemblage d'une cisaille à levier fonctionnelle
- [3] toutes les pièces de fabrication de la cisaille à levier sont en acier et usinées avec précision, leur surface est brunie
- [4] structure de montage sur plaque de couverture transparente
- [5] système de rangement pour les pièces
- [6] systèmes de rangement empilables les uns sur les autres
- [7] la documentation didactique prend en considération les approches pédagogiques privilégiant la pratique et l'interdisciplinarité

Caractéristiques techniques

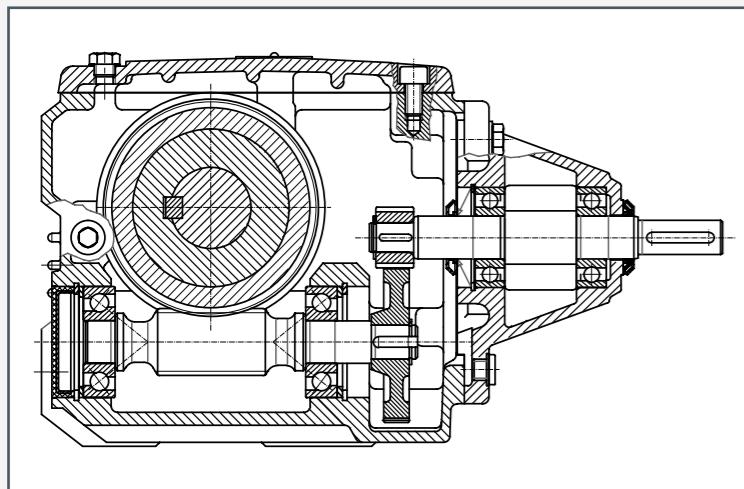
Lxlxh: 540x350x70mm (système de rangement)
Poids: env. 7kg

Liste de livraison

- 1 système de rangement avec les différentes pièces de la cisaille à levier
- 1 plaque de couverture avec structure de montage
- 1 jeu d'outils pour le montage et le démontage
- 1 jeu de petites pièces
- 1 documentation didactique

GL 300.01

Modèle en coupe: engrenage à vis sans fin



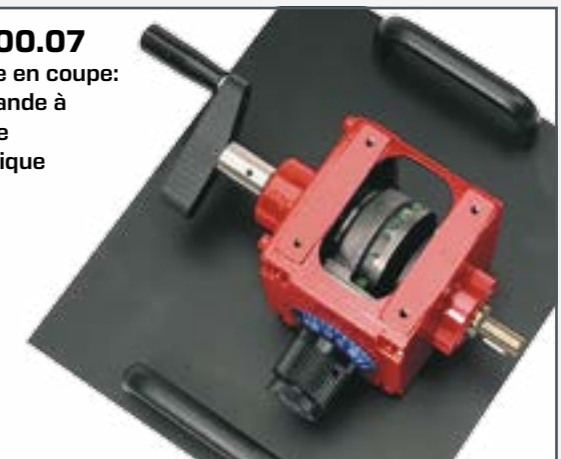
Les dessins industriels font partie de la documentation didactique.

Système ouvert, utilisé manuellement, comportant différents composants et éléments mécaniques

- aperçu des particularités et modes de fonctionnement des composants
- les fonctions de mouvement restent, malgré les coupes, entièrement conservées
- actionnement par manivelle

Les modèles sont montés sur des socles métalliques solides. Des poignées en forme d'étrier facilitent leur transport. La fourniture comprend les descriptions techniques et les plans en coupe, de telle sorte que le contenu didactique englobe les calculs et les aspects constructifs.

Lxlxh: 350 x 300 x 140 mm
Poids: env. 2,5 kg

GL 300.02Modèle en coupe:
engrenage
à roues
coniques**GL 300.03**Modèle en coupe:
engrenage
droit**GL 300.04**Modèle en coupe:
engrenage droit
biéutage**GL 300.05**Modèle en coupe:
engrenage
planétaire**GL 300.06**Modèle en coupe:
mécanisme de
réglage à
courroie à
trapézoïdale**GL 300.07**Modèle en coupe:
commande à
réglage
mécanique**GL 300.08**Modèle en coupe:
embrayage à
disques
multiples**GL 300.12**Modèle en coupe:
palier à chapeau

Éléments de machine

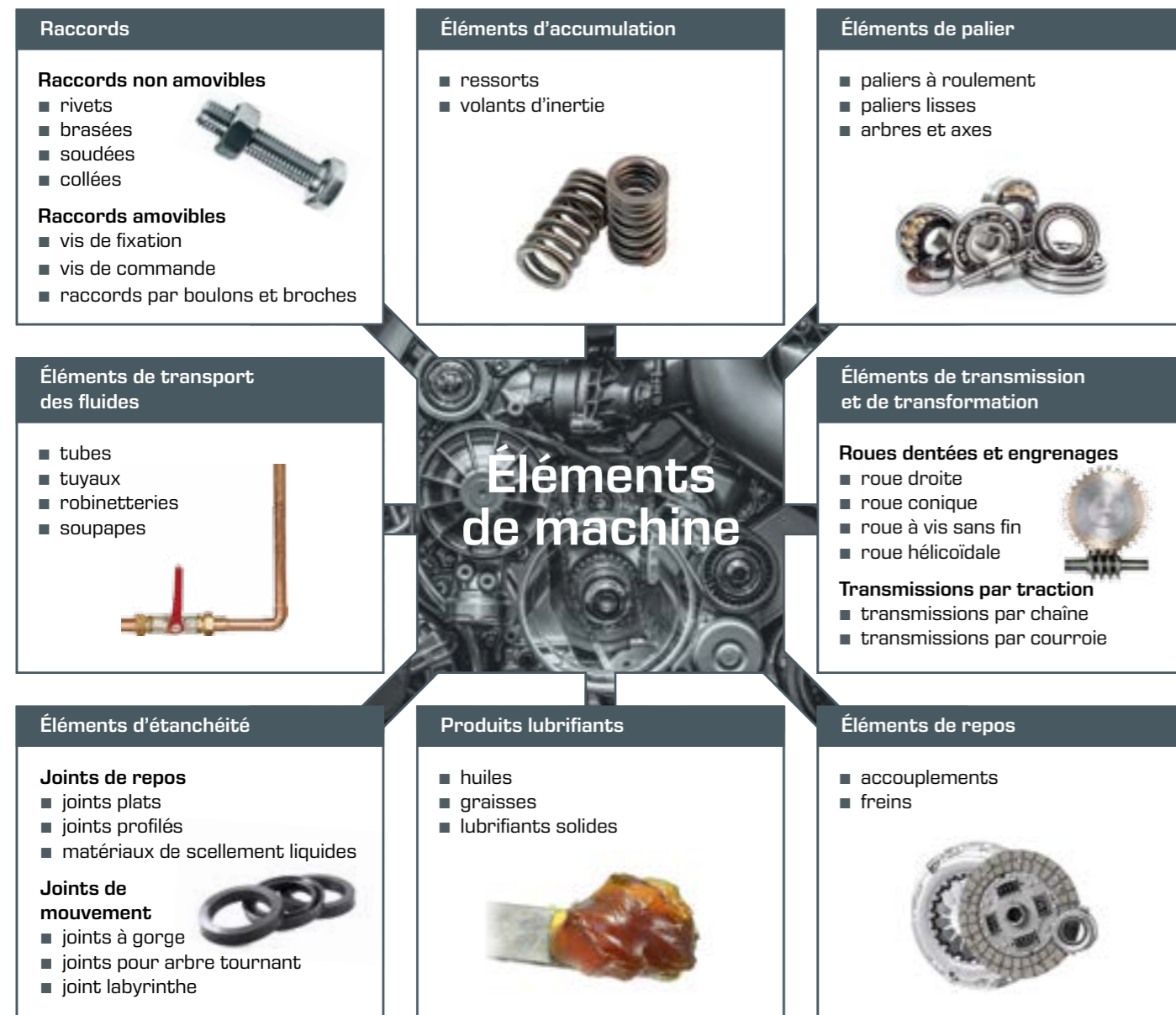
Les composants d'une application technique, qui remplissent une fonction spécifique dans des constructions, sont appelés éléments de machine. Les éléments de machine peuvent être aussi bien des pièces individuelles que des modules:

- pièces individuelles: vis, boulons, roues dentées
- modules composés de plusieurs éléments de machine tels que: accouplements, roulements à billes, engrenages, soupapes

Bien qu'utilisés dans des constructions très différentes les unes des autres, les différents éléments de machine remplissent toujours la même fonction.

Classification des éléments de machine

Certains éléments de machine peuvent remplir des fonctions différentes. Ainsi, les accouplements sont utilisés comme éléments de fixation et/ou de transmission, et les arbres servent de palier et/ou de transmission.



Les éléments de machine simples tels que vis, goupilles cylindriques, clavettes ou joints, sont définis par des normes et peuvent être remplacés sans problème. Les éléments de machine plus complexes tels que paliers, accouplements, engrenages et arbres, sont normés uniquement pour certaines de leurs propriétés essentielles, telles que leurs dimensions principales ou leurs brides, et ne sont pas systématiquement interchangeables.

Les éléments de machine suivants sont présentés dans ce chapitre:

- différents raccords
- différents types d'engrenages
- ainsi que des paliers à roulement.

Raccords



Lorsque des composants doivent être fixés fermement les uns aux autres, on utilise des raccords. Vis de fixation, rivets et broches sont des éléments discrets qui sont la plupart du temps amovibles et peuvent être réutilisés.

Les vis sont les éléments de machine les plus courants et sont classés selon leur fonction: les **vis de fixation** relient de manière fixe, mais amovible, deux pièces ou plus. Les **vis de commande** transforment les mouvements rotatifs en mouvements longitudinaux, et se déplacent en charge une fois le montage terminé.

Éléments de palier



Les éléments de palier peuvent supporter et dévier des forces, assurer les mouvements rotatifs des arbres et axes, et permettre le guidage axial des arbres. Selon leur construction, on distingue les **paliers lisses** et les paliers à roulement. Sur le palier lisse, les pièces qui se déplacent les unes contre les autres sont en contact. Ce glissement est en général facilité par un film lubrifiant. Les paliers lisses assurent ainsi une transmission de force optimale sur l'intégralité des surfaces en contact.

Sur les **paliers à roulement**, un mouvement de roulement facilite les mouvements des composants, et réduit le frottement. Sur les corps de roulement, une bague extérieure et une bague intérieure roulent côte à côte sans se toucher. Les cylindres et billes sont des corps de roulement classiques. Pour que les corps de roulement ne se touchent pas, on utilise ce que l'on appelle des cages pour séparer les cylindres ou les billes.

Éléments de transmission et de transformation



Les éléments de machine complexes avec lesquels on transforme les grandeurs de mouvement que sont la trajectoire, la vitesse et l'accélération, sont appelés éléments de transformation ou engrenages. Sur les engrenages, les **roues dentées**, transmettent mécaniquement le mouvement rotatif d'un arbre

à un autre. Dans une transmission par traction, le couple est transmis entre deux arbres à l'aide d'un mécanisme de traction. On distingue ici les mécanismes de traction mécaniques (**courroie trapézoïdale**) des mécanismes de traction par adhérence (**transmission par chaîne** ou **par courroie dentée**).

MG 901

Kit de vis et écrous



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les principaux écrous et vis utilisés en génie mécanique et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations, les termes et la représentation graphique normalisés

Spécification

- [1] ensemble de vis et écrous
- [2] 42 pièces normalisées disposées de façon structurée sur une plaque d'aluminium
- [3] plaque avec sérigraphie
- [4] impression sérigraphique: représentation graphique et désignation DIN
- [5] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [6] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

Caractéristiques techniques

Plaque d'aluminium, Lxl: 350x255mm
Vis: C4,8, K4,8, M6, M8, M10
Écrous: M6, M8, M10

Lxlxh: 500x350x110mm (système de rangement)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

Description

- ensemble très complet regroupant les principaux écrous et vis utilisés en génie mécanique
- désignations, termes et représentation graphique normalisés

Les vis et écrous sont des éléments de machine normés, et font partie des fixations amovibles. Ces raccords sont utilisés lorsque des éléments de machine doivent être fixés de manière permanente les uns aux autres. On utilise des vis et écrous différents selon le domaine d'application.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Les pièces normalisées originales sont visées de manière bien structurée dans une plaque d'aluminium. Les symboles figurant sur la plaque correspondent à la représentation graphique conforme, mais aussi à la désignation DIN et normalisée de la pièce concernée.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

MG 903

Kit de freins de vis



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les freins de vis et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations, les termes et la représentation graphique normalisés

Spécification

- [1] ensemble de freins de vis
- [2] 18 freins de vis montés, disposés de façon structurée sur une plaque d'aluminium
- [3] magasin transparent avec 18 compartiments, contenant chacun 10 exemplaires des différents freins de vis
- [4] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [5] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

Caractéristiques techniques

Plaque d'aluminium, Lxl: 238x100mm
Freins pour M6

Lxlxh: 510x360x120mm (système de rangement)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

Description

- ensemble très complet de freins de vis
- désignations, termes et domaines d'application normalisés

Les freins de vis servent à éviter que les assemblages par vis et rondelles ne se détachent ou se desserrent sous l'influence de facteurs externes tels que les vibrations ou la corrosion. Élément de machine, le frein est un composant qui est ajouté au moment du serrage de l'assemblage par vis et rondelles.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Des freins de vis sont présentés à l'état monté sur une plaque en aluminium. Un magasin transparent contient un grand nombre de freins de vis.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

MG 905

Kit de filets



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les types de filets utilisés en génie mécanique et leurs applications spécifiques
- détermination du type de filet avec un calibre de filetage

Spécification

- [1] kit de filets
- [2] 8 types de filets, disposés de façon structurée
- [3] flancs de filets visibles grâce à des entailles
- [4] pièces galvanisées
- [5] calibre de filetage pour la détermination du type de filet
- [6] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [7] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

Caractéristiques techniques

Taille de filetage: 24mm
Calibre de filetage pour filet extérieur et filet intérieur

- filetage métrique ISO
- filetage Whitworth
- filetage Whitworth pas de gaz

Lxlxh: 500x350x110mm (système de rangement)
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

Description

- **ensemble très complet regroupant les principaux types de filets utilisés en génie mécanique**
- **désignations et termes normalisés, applications spécifiques**

Les filets sont à la base des assemblages amovibles; les vis ont ainsi un filet extérieur, et les écrous un filet intérieur. En fonction des domaines d'application et des charges que le filet doit supporter, différents types de filet ont été développés au fil du temps. À l'aide des normes, on peut garantir la fonctionnalité des couplages de composants avec un filet intérieur et un filet extérieur.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Différents filets de boulons et d'écrous sont présentés. Les flancs des filets sont rendus apparents grâce à des entailles. Un calibre de filetage permet de déterminer le type et la taille du filet.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

TM 320

Contrôle d'assemblages par vis



Contenu didactique/essais

- force de serrage axiale d'un assemblage par vis en fonction du couple de serrage ou de la déformation élastique d'un corps fendu
- mesure du couple initial de décrochement, également pour différentes situations de montage de l'assemblage par vis
- mesure du frottement dans le filet et du frottement total

Spécification

- [1] essais sur la relation entre la force de vissage et le couple de serrage sur des vis
- [2] dimension des vis M8x100, ouverture de clé 13mm
- [3] déformation élastique d'un corps fendu sous l'action de la vis
- [4] détermination du couple de serrage et du couple initial de décrochement avec un dispositif mécanique de mesure de couple
- [5] 2 comparateurs à cadran mécaniques
- [6] réglage fin du couple de serrage à l'aide d'un volant à main

Caractéristiques techniques

Force de serrage

- max. 40kN

Constante force/déplacement

- 20kN/mm (corps fendu)

Couple de serrage

- max. 40Nm

Constante couple/déplacement

- 10Nm/mm (dispositif de mesure du couple de serrage)

Comparateur à cadran

- 0...10mm
- graduation: 0,01mm

Lxlxh: 450x400x260mm
Poids: env. 27kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de vis dans son présentoir transparent
- 1 documentation didactique

Description

- **relation entre le couple de serrage et la force de serrage sur des vis normalisées**
- **couple initial de décrochement d'un assemblage par vis**

L'élément principal de l'appareil est un corps en acier fendu élastiquement déformable. Lors du serrage de l'assemblage par vis, la zone fendue est déformée, générant ainsi une force de serrage axiale dans la vis. La déformation qui apparaît est mesurée à l'aide d'un comparateur mécanique, elle est en relation directe avec la force de serrage de vis générée.

Le serrage et le desserrage d'un assemblage par vis s'effectuent avec une clé dynamométrique spéciale, actionnée en finesse à l'aide d'une broche filetée. L'utilisation d'un palier de butée permet d'exclure, dans une large mesure, le frottement de la tête de vis. Ainsi, on ne mesure que le frottement de l'assemblage fileté.

TM 310

Contrôle de filetage



Contenu didactique/essais

- détermination du coefficient de frottement d'une vis en acier avec
 - ▶ un écrou en fonte grise
 - ▶ un écrou en bronze
 - ▶ un écrou en plastique
- détermination du rendement correspondant du filetage

Spécification

- [1] étude du rendement d'un filetage avec différents couplages de matériaux de filetage
- [2] écrous en fonte grise, en bronze et en plastique
- [3] broches avec filetage trapézoïdal, pas différent
- [4] génération d'un couple par une poulie avec balance à ressort et câble chargement par des charges progressives
- [5]

Caractéristiques techniques

Filetages de la broche
 ■ TR30x6 et TR30x12P6

Plateau tournant
 ■ diamètre: 140mm

Balance à ressort
 ■ 0...5N
 ■ graduation: 0,05N

Charge
 ■ 1x 10N
 ■ 1x 20N

LxHx: 300x300x300mm
 Poids: env. 15kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

Description

■ détermination du rendement d'un filetage avec différents couplages de matériaux de filetage

L'appareil de base est constitué pour l'essentiel d'un couplage broche fileté – écrou en position verticale. Un couple est exercé sur une broche par le biais d'une poulie, à l'aide de la balance à ressort et du câble. Des poids additionnels sur le plateau rotatif influent sur la charge axiale du filet.

Deux broches à filet trapézoïdal de pas différents sont comprises dans la liste de livraison. En complément, l'appareil d'essai comprend trois écrous longs en matériaux différents à pas simple, et un écrou en fonte grise à pas double.

Les rendements du filetage peuvent être déterminés et comparés en utilisant les valeurs de mesure.

MG 911

Kit de paliers à roulement



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les principaux types de paliers à roulement utilisés en génie mécanique et avec leur utilisation spécifique
- familiarisation avec les désignations et les termes normalisés
- discussion sur des cas d'application

Spécification

- [1] kit de paliers à roulement
- [2] 13 paliers à roulement, disposés de façon structurée: 5 roulements à rouleaux et 8 roulements à billes
- [3] 2 roulements axiaux / 11 roulements radiaux
- [4] toutes les pièces sont disposées de façon ordonnée dans un système de rangement
- [5] les systèmes de rangement sont empilables les uns sur les autres

Caractéristiques techniques

Dimensions des paliers
 ■ diamètre intérieur: $\varnothing=20\text{mm}$
 ■ diamètre extérieur: $\varnothing=35, 40, 42, 47, 52\text{mm}$
 ■ largeur de palier: $H=8, 10, 12, 14, 15, 18, 47\text{mm}$

LxHx: 500x350x110mm (système de rangement)
 Poids: env. 2kg

Liste de livraison

- 1 ensemble complet ordonné dans un système de rangement
- 1 documentation didactique

Description

- ensemble très complet regroupant les principaux types de paliers à roulement utilisés en génie mécanique
- désignations et termes normalisés, cas d'application

Les paliers à roulement sont des éléments de machine normalisés et font partie des éléments de guidage et de palier. Ils servent à guider des arbres ou des axes rotatifs dans des composants au repos, et à transmettre des forces radiales et axiales, mais pas des couples. Entre les pièces qui bougent les unes contre les autres, se trouvent des corps de roulement (billes ou rouleaux) qui effectuent un mouvement de roulement. Les paliers à roulement sont rattachés à des séries de normes différentes, en fonction de leur cas d'application.

Cet ensemble est destiné à l'observation et à l'information. La réalisation d'exercices ou d'essais n'est pas prévue. Différents paliers à roulement sont présentés. Les paliers sont sélectionnés pour une taille d'arbre spécifique.

L'ensemble est disposé de manière bien ordonnée dans un système de rangement.

GL 100

Principe des engrenages



Contenu didactique/essais

- principe et différences des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées
- explication et visualisation
 - ▶ d'une transmission
 - ▶ d'un cercle primitif de référence
 - ▶ d'un module
 - ▶ de la fonction des roues intermédiaires

Spécification

- [1] démonstration de la fonction des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées
- [2] poulies et roues de friction en plastique
- [3] joint torique pour courroie d'entraînement
- [4] roues dentées en acier
- [5] châssis profilé en aluminium anodisé

Caractéristiques techniques

- Roues dentées, acier
- nombre de dents: 15, 16, 20
 - module: 20mm
- Poulies de courroies, plastique
- diamètre: $\varnothing=300$, $\varnothing=320$, $\varnothing=400$ mm

Lxlxh: 1100x320x600mm
Poids: env. 22kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 documentation didactique

Description

■ démonstration de la fonction et de la construction de différents engrenages

Les engrenages sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulies. La transmission du mouvement est assurée soit par des liaisons par adhérence (avec courroies, roue de friction) soit par des liaisons mécaniques (avec roues dentées, courroies dentées, chaînes).

L'appareil d'essai GL 100 permet d'expliquer la fonction et la construction des engrenages à courroie, à roues de friction et à roues dentées.

Les termes de base et les concepts associés, tels que le rapport de transmission, la modification du sens de rotation, le cercle primitif de référence et le module ou la fonction des roues intermédiaires, peuvent être mis en évidence de manière intuitive.

La base de l'appareil est constituée d'un solide châssis profilé en aluminium anodisé. Les logements des roues sont fixés par des leviers de serrage dans les rainures en T du profilé. Ils sont facilement détachables et peuvent être déplacés horizontalement, permettant ainsi une grande variété de montages.

Tous les essais sont commandés manuellement. La taille du modèle garantit la bonne visibilité des expériences, même lorsque le nombre d'élèves est important.

GL 110

Commande à came



Contenu didactique/essais

- courbes de levée de commandes à came
- corps de came en forme d'ergots avec différentes géométries
 - ▶ came en arc de cercle, tangentielle, creuse, dissymétrique
 - ▶ au choix avec poussoir rond, poussoir plat ou levier oscillant comme élément suiveur

Spécification

- [1] fonction de commandes à came
- [2] 4 corps de came différents en forme d'ergots: came en arc de cercle, tangentielle, creuse, dissymétrique
- [3] 3 éléments suiveurs différents: poussoir rond, poussoir plat ou levier oscillant
- [4] corps de came et éléments suiveurs peuvent être changés sans outils
- [5] comparateur à cadran pour la détermination de la course
- [6] échelle d'angle pour la détermination de l'angle de rotation

Caractéristiques techniques

- Échelle d'angle
- 0...360°
 - graduation: 1°

- Comparateur à cadran pour la course
- 0...30mm
 - graduation: 0,01mm

Lxlxh: 160x160x300mm
Poids: env. 7kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 corps de came différents en forme d'ergots
- 3 éléments suiveurs
- 1 comparateur à cadran
- 1 documentation didactique

Description

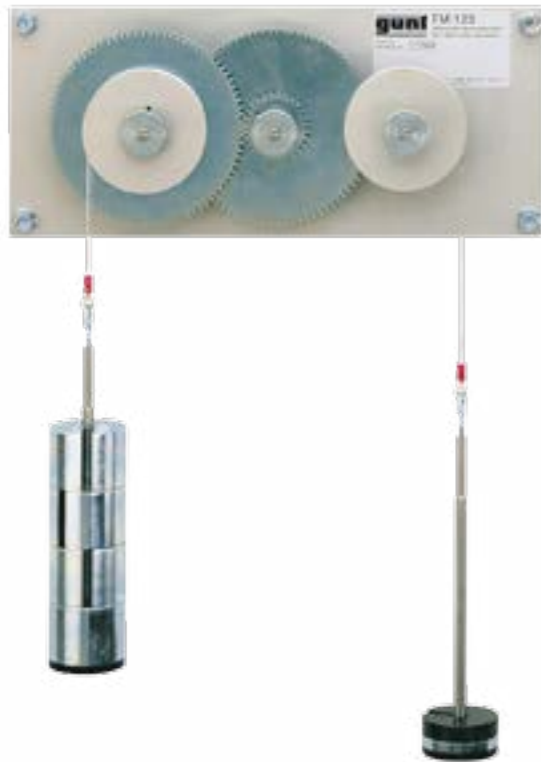
■ démonstration et mesure des courbes de levée sur des commandes à came

Les commandes à came font partie des engrenages à transmission irrégulière, qui sont utilisés pour transformer des mouvements d'entraînement circulaires réguliers, en mouvements entraînés irréguliers avec ou sans pause. Les commandes à came sont généralement constituées de corps de came, d'éléments suiveurs et d'un châssis. La courbe de mouvement souhaitée est déterminée par la géométrie des corps de came, et produite par le balayage d'un contour ou d'un profil au niveau de ce que l'on appelle l'élément suiveur.

Le GL 110 permet de démontrer de manière explicite la fonction d'une commande à came. Des corps de came avec différentes formes d'ergots sont disponibles. Comme élément suiveur, on peut utiliser un poussoir rond, un poussoir plat ou un levier oscillant. La mesure du déplacement détermine la course. Une échelle d'angle indique l'angle de rotation correspondant.

TM 123

Engrenage droit



Contenu didactique/essais

- analyse des principales grandeurs et relations d'un engrenage droit à denture droite
 - ▶ rapports de vitesse dans des engrenages droits
 - ▶ engrenage avec roue intermédiaire ou engrenage à deux étages
 - ▶ influence de la transmission sur le frottement
 - ▶ calcul du rendement

Spécification

- [1] fonction et construction d'engrenages à roues dentées
- [2] 4 roues dentées en acier galvanisé
- [3] 2 poulies en aluminium anodisé
- [4] roues dentées et poulies montées sur roulements à billes
- [5] plaque de base en aluminium anodisé

Caractéristiques techniques

- 4 roues dentées
- 2x $\varnothing=126\text{mm}$, 84 dents
 - 2x $\varnothing=42\text{mm}$, 28 dents
 - module: $m=2\text{mm}$

Rayon d'action des poulies: 35mm

Poids

- 2x 1N (suspente)
- 2x 0,25N
- 1x 0,5N
- 2x 1N
- 2x 2N
- 2x 2,5N

Lxlxh: 350x150x100mm

Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 4 roues dentées
- 2 poulies
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

Description

■ construction et principe des engrenages à roues dentées

Les roues dentées et les engrenages à roues dentées sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Les roues dentées transmettent le mouvement rotatif d'un premier arbre à un second, par le biais d'une liaison mécanique. Sur un engrenage droit, les roues dentées sont disposées sur des axes parallèles. Ce type d'engrenages se distingue par une construction relativement simple, étant donné que le nombre de pièces en mouvement est réduit, et que les roues droites à dentures externes sont faciles à fabriquer. Les engrenages droits sont robustes, et ont un rendement élevé du fait de leur transmission directe purement mécanique.

L'appareil d'essai TM 123 met en évidence la relation qui existe entre le nombre de dents et le rapport de transmission des engrenages. La transmission du couple dans des paires de roues dentées, ainsi que le rendement d'un engrenage, sont étudiés au travers d'essais simples à réaliser. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

TM 124

Engrenage à vis sans fin



Contenu didactique/essais

- analyse des principales grandeurs et relations d'un engrenage à vis sans fin
 - ▶ étude du rapport de transmission, du couple, du frottement et du blocage automatique
 - ▶ détermination du rendement

Spécification

- [1] fonction et construction des engrenages à vis sans fin
- [2] roue à vis sans fin en bronze
- [3] vis sans fin en acier
- [4] 2 tambours de câbles en aluminium
- [5] vis sans fin, roue hélicoïdale et poulies montées sur roulements à billes
- [6] plaque de base en aluminium anodisé

Caractéristiques techniques

Tambour de câbles

- diamètre de l'arbre de la vis sans fin: $\varnothing=40\text{mm}$
- diamètre de l'arbre de la roue à vis sans fin: $\varnothing=120\text{mm}$

Entraînement à vis sans fin

- entraxe: 80mm
- transmission: 30:1
- module: $m=4\text{mm}$
- nombre de rapports: 1
- transmission de force: 10

Poids côté vis sans fin

- 1x 50N
- 1x 20N
- 2x 10N
- 1x 10N (suspente avec masse de compensation)

Poids sur la roue à vis sans fin

- 1x 5N
- 4x 2N
- 1x 1N
- 1x 0,5N
- 1x 0,5N (suspente)

Lxlxh: 250x150x200mm

Poids: env. 22kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 vis sans fin
- 1 roue à vis sans fin
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

Description

■ construction et principe des engrenages à vis sans fin

Les engrenages à vis sans fin sont un type particulier d'engrenages à vis; ils font partie des éléments de machine de transmission ou de transformation. Ce type d'engrenage est composé dans la plupart des cas de la vis sans fin d'entraînement et de la roue à vis sans fin entraînée. Les engrenages à vis sans fin ont un fonctionnement plus silencieux et amorti et, à performances et transmissions égales, sont de plus petite taille et plus faciles à exécuter que les engrenages droits ou les engrenages à roues coniques.

L'appareil d'essai TM 124 permet l'étude des rapports de couple et du rendement. Le rapport de transmission de l'engrenage peut être déterminé. Les notions de base relatives aux dentures sont présentées de façon simple: nombre de dents et nombre de rapports, module, cercle primitif et entraxe.

La roue à vis sans fin et la vis sans fin sont montées sur roulements à billes. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

TM 125
Treuil**Contenu didactique/essais**

- détermination
 - ▶ du rapport de transmission
 - ▶ de la vitesse de déroulement
 - ▶ de la vitesse angulaire
 - ▶ du rendement
- comportement en charge

Spécification

- [1] fonction et construction des treuils
- [2] étude de la vitesse de levage et de la transmission de force
- [3] démonstration d'un dispositif de protection antiretour
- [4] enroulement d'un câble porteur sur un tambour de câbles
- [5] déplacement de charges au moyen d'un treuil
- [6] variation des charges et des forces

Caractéristiques techniques

Tambour de câbles

- aluminium
- roue d'entraînement
 - ▶ diamètre: 220mm
- roue entraînée
 - ▶ diamètre: 110mm

Roues dentées

- POM
- petite: 12 dents
- grande: 60 dents
- module de 2mm chacun

Rapport de transmission global: 10

Poids sur la roue d'entraînement

- 1x 5N
- 4x 2N
- 1x 1N
- 1x 0,5N
- 1x 0,5N

Poids sur la roue entraînée

- 1x 50N
- 2x 20N
- 1x 10N

Lxlxh: 270x200x250mm

Poids: env. 19kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 tambours de câbles
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

Description■ **construction et principe d'un treuil**

Les treuils ou vérins d'ascenseur sont des éléments de machine, et font partie des éléments de transmission ou éléments de transformation. Sur un treuil, un câble porteur est enroulé sur un tambour de câbles, à l'aide d'une transmission par roues dentées. Cela permet de déplacer des charges fixées sur le câble porteur.

L'appareil d'essai TM 125 permet d'étudier la vitesse de levage et la transmission de force d'un treuil. Il permet aussi de montrer comment fonctionne un dispositif de protection antiretour. Des observations relatives à l'équilibre permettent de déterminer la transmission de force et le rendement. Les deux tambours de câbles sont montés sur roulements à billes. Les forces sont générées par des poids; on peut les varier rapidement et facilement.

Étude de laboratoire et élaboration d'un concept de A à Z



Vous prévoyez la réalisation d'un nouveau laboratoire?
D'une nouvelle salle?
De tout un service?
Vous voulez moderniser?

Alors, profitez de notre savoir-faire et de notre expérience! Nos ingénieurs conçoivent et aménagent des laboratoires complets. Nous sommes à l'écoute de vos attentes spécifiques et tenons compte des particularités de l'environnement local:

- plans de la salle
- raccords alimentation
- listes d'équipements
- descriptions des prestations etc.

Notre force de vente/notre SAV se tient à votre disposition pour toute question à ce sujet.

TM 220**Entraînement par courroie et frottement de courroie****Contenu didactique/essais**

- influence de l'angle d'enroulement, coefficient de frottement et force de câble (formule d'Eytelwein de frottement d'un câble)
- comparaison courroie plate – courroie trapézoïdale
- conséquences d'une gorge pour courroies trapézoïdales inadaptée

Description

- **fonctionnement d'un entraînement par courroie**
- **frottement de différentes formes de courroies sur une poulie de courroies en métal**

Les entraînements par courroie sont des éléments de machine et appartiennent, parmi les éléments de transmission et de transformation, à la catégorie des entraînements par traction. Leur rôle est de transmettre le couple et la vitesse de rotation entre des organes de direction tels que les roues ou les poulies. La transmission du mouvement s'effectue par l'intermédiaire de mécanismes de traction qui ne peuvent absorber que les forces de traction. Les courroies dentées et les chaînes transmettent les mouvements de manière mécanique.

Les mécanismes de traction tels que câbles, courroies plates et courroies

trapézoïdales, permettent au contraire une transmission par adhérence.

La transmission de la force périphérique entre la courroie et la poulie se fait au niveau d'un entraînement par courroie, selon le principe du frottement de câble. Le frottement de câble est dû à des forces de frottement d'adhérence tangentielles aux endroits où le câble est en contact avec la roue ou la poulie. Pour calculer le frottement de câble ou de courroie, on utilise la formule d'Eytelwein (frottement d'un câble).

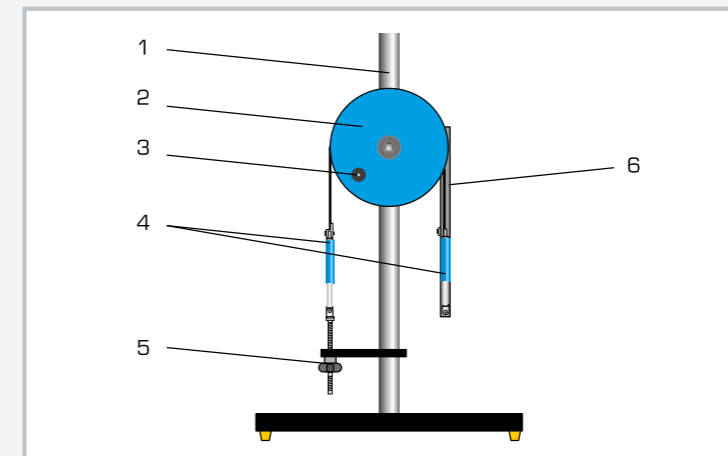
L'appareil d'essai TM 220 permet l'étude expérimentale des entraînements par courroie et du frottement de courroie. L'élément central de l'appareil est une poulie en fonte dont la périphérie présente des gorges pour courroies trapézoïdales et courroies plates.

La poulie est montée sur un roulement à

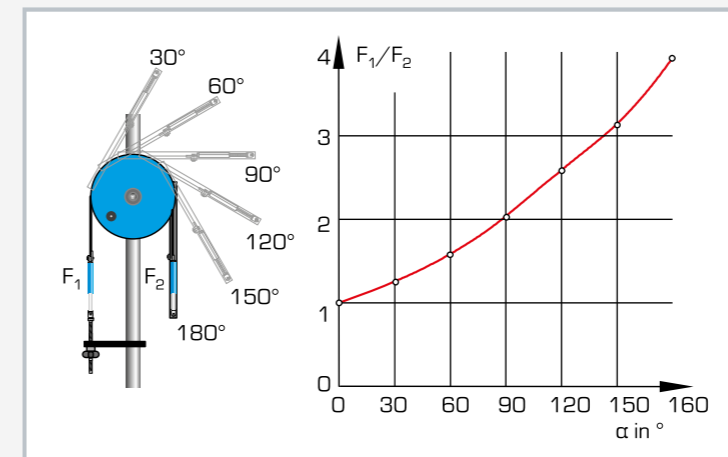
billes, et entraînée par une manivelle. Sa masse d'inertie favorise la régularité de la rotation. Les courroies frottent sur la poulie avec un angle d'enroulement compris entre 30° et 180°. L'angle d'enroulement peut être réglé par pas de 15°.

Deux balances à ressort mesurent les forces de traction aux extrémités des courroies. La pré-tension des courroies peut être ajustée avec précision à l'aide d'une tige filetée. Deux courroies plates constituées de matériaux différents, une courroie trapézoïdale et un câble sont compris dans la liste de livraison. Lors des essais, différentes formes et différents matériaux de courroie sont comparés, et l'influence de l'angle d'enroulement est étudiée.

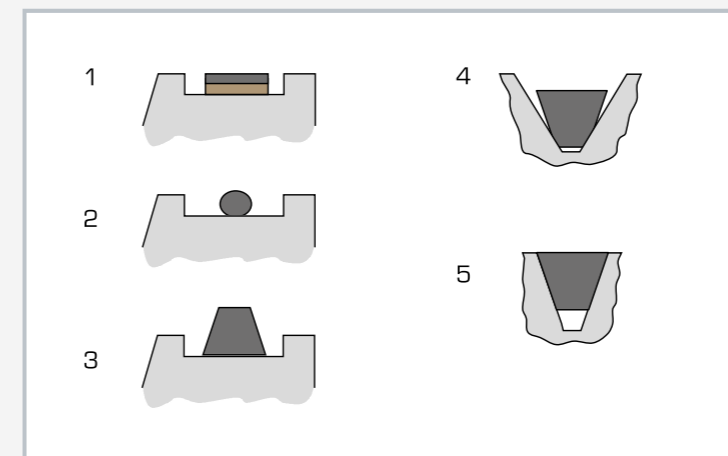
Il est possible par ailleurs, sur la courroie trapézoïdale, d'étudier l'influence de la forme de la gorge sur le coefficient de frottement.



1 colonne de support, 2 poulie de courroies, 3 manivelle, 4 balance à ressort, 5 ajustage de la pré-tension de la courroie, 6 support de courroies pivotable



Ajustage par pas de l'angle d'enroulement de 30° à 180°. Le diagramme représente le rapport des forces F_1 / F_2 en fonction de l'angle d'enroulement α .



Comparaison de différentes formes de courroies: 1 courroie plate, 2 câble, 3 courroie trapézoïdale, 4 position défavorable de la courroie dans la gorge, 5 position optimale de la courroie dans la gorge

Spécification

- [1] fonctionnement d'un entraînement par courroie
- [2] frottement de courroie et comparaison de différents matériaux et formes de courroies
- [3] poulie de courroies sur roulement à billes avec 3 gorges pour courroies différentes
- [4] 2 courroies plates en matériaux différents, une courroie trapézoïdale et 1 câble
- [5] angle d'enroulement des courroies 30°...180°, graduation 15°
- [6] mesure de la force avec 2 balances à ressort

Caractéristiques techniques**Courroies plates**

- 1x cuir/polymamide, 15x2,2mm, Extremultus LT10
- 1x polymamide, 15x0,6mm, Extremultus TT2

Courroie trapézoïdale

- ISO 4184
- profil: SPZ
- 9,7x8,0mm, caoutchouc/tissu

Câble

- chanvre, Ø=3mm

Poulie de courroies

- Ø=300mm
- matériau: fonte grise

Dynamomètre: 100N ±1N

Lxhx: 700x350x1100mm

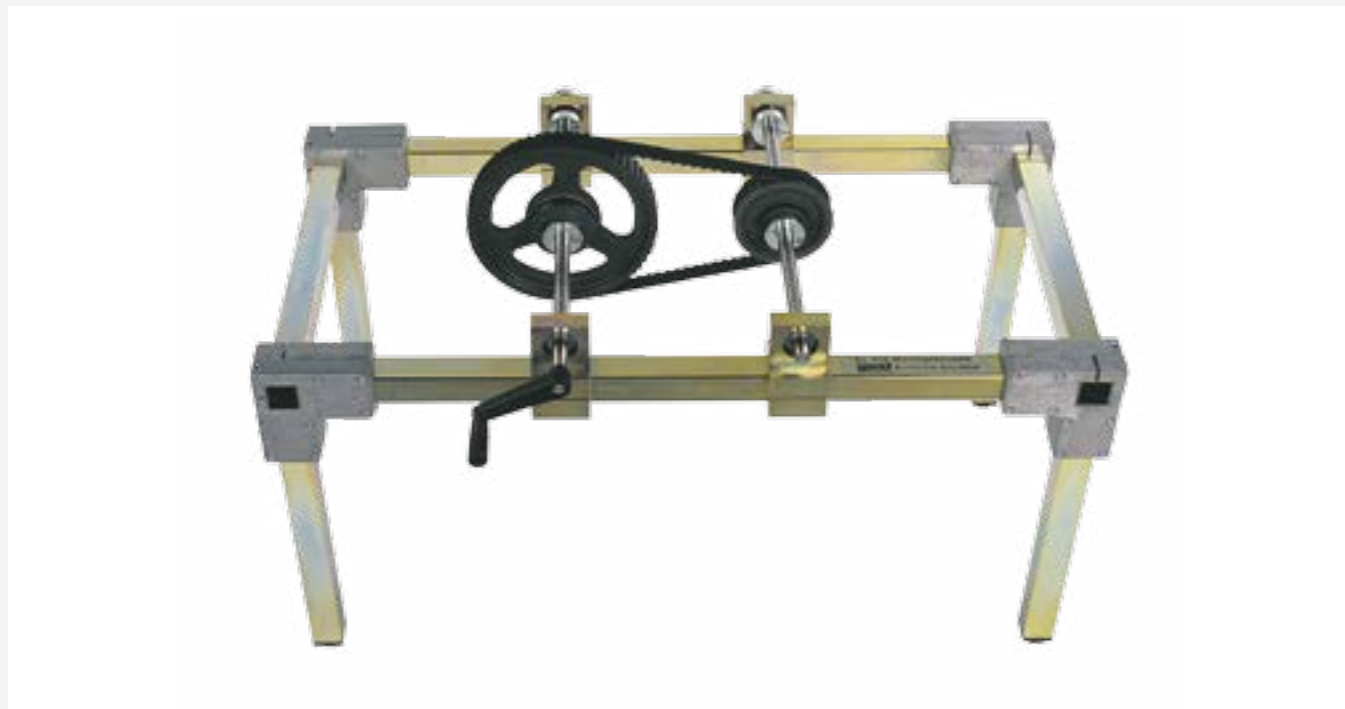
Poids: env. 47kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 courroies plates
- 1 câble
- 1 courroie trapézoïdale
- 2 dynamomètres
- 1 documentation didactique

GL 410

Montage d'entraînements simples



Description

- kit d'assemblage flexible et robuste pour les principes de base de la technique des engrenages mécaniques
- lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels
- montage simple et rapide

Le rôle des engrenages est de transmettre la taille et/ou la direction de mouvements rotatifs ainsi que le couple. Dans les éléments de machine, les engrenages sont classés parmi les éléments de transmission et de transformation. Il existe différentes formes de construction d'engrenages selon le rôle qu'ils ont à remplir. Les engrenages à roues, tels que les engrenages à roues dentées, les engrenages à friction et les transmissions par traction, font partie des engrenages à transmission régulière.

Le GL 410 sert d'introduction aux principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

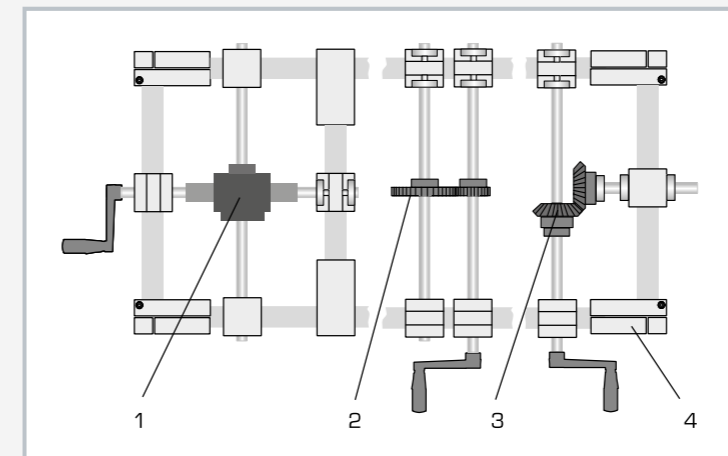
Le système d'exercices permet d'assembler six types d'engrenages simples différents. La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages.

Différents exercices sont effectués successivement: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrenements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

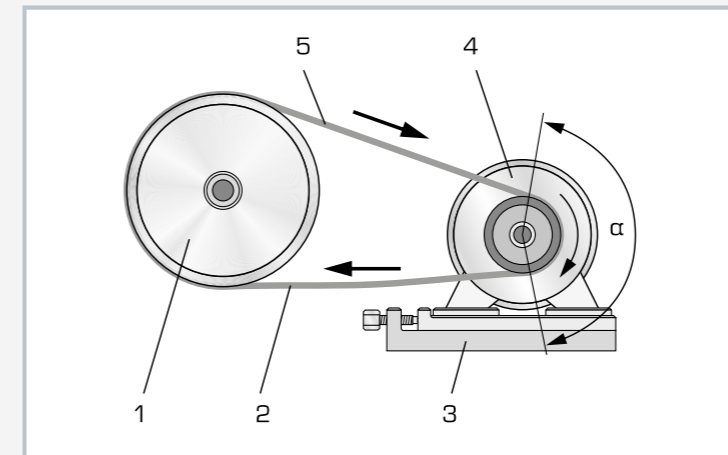
Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.

Contenu didactique/essais

- introduction aux principaux composants de la technique mécanique d'engrenages
- principaux types d'engrenages
 - ▶ entraînement simple par courroie
 - ▶ entraînement simple par chaîne
 - ▶ engrenage simple droit
 - ▶ engrenage à roues coniques
 - ▶ engrenage à vis sans fin
 - ▶ entraînement à crémaillère
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages avec exercices simples d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension des dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques



1 engrenage à vis sans fin, 2 engrenage droit, 3 engrenage à roues coniques, 4 bâti constitué de tubes en acier de profil carré



Mode de fonctionnement d'un entraînement par courroie: 1 disque entraîné, 2 brin mou, 3 rail de serrage avec vis, 4 disque d'entraînement, 5 brin tendu, α angle d'enroulement

Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec des engrenages simples
- [2] entraînement simple par courroie
- [3] entraînement simple par chaîne
- [4] engrenage simple droit
- [5] engrenage à roues coniques
- [6] engrenage à vis sans fin
- [7] entraînement à crémaillère
- [8] actionnement par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide constitué de tubes en acier de profil carré

Caractéristiques techniques

Poulies pour courroies dentées

- nombre de dents: $z=30, 60$

Roues à chaîne

- nombre de dents: $z=20, 30$
- DIN 8192 ISO 10B-1

Roues droites

- nombre de dents: $z=30, 60$
- module: $m=2\text{mm}$

Paire de roues coniques

- nombre de dents: $z=30$
- module: $m=3\text{mm}$
- rapport de transmission: $i=1$
- angle entre les axes: 90°

Lxlxh: env. 1030x500x520mm (bâti monté)

Poids: env. 70kg

Lxlxh: 600x400x220mm (système de rangement)

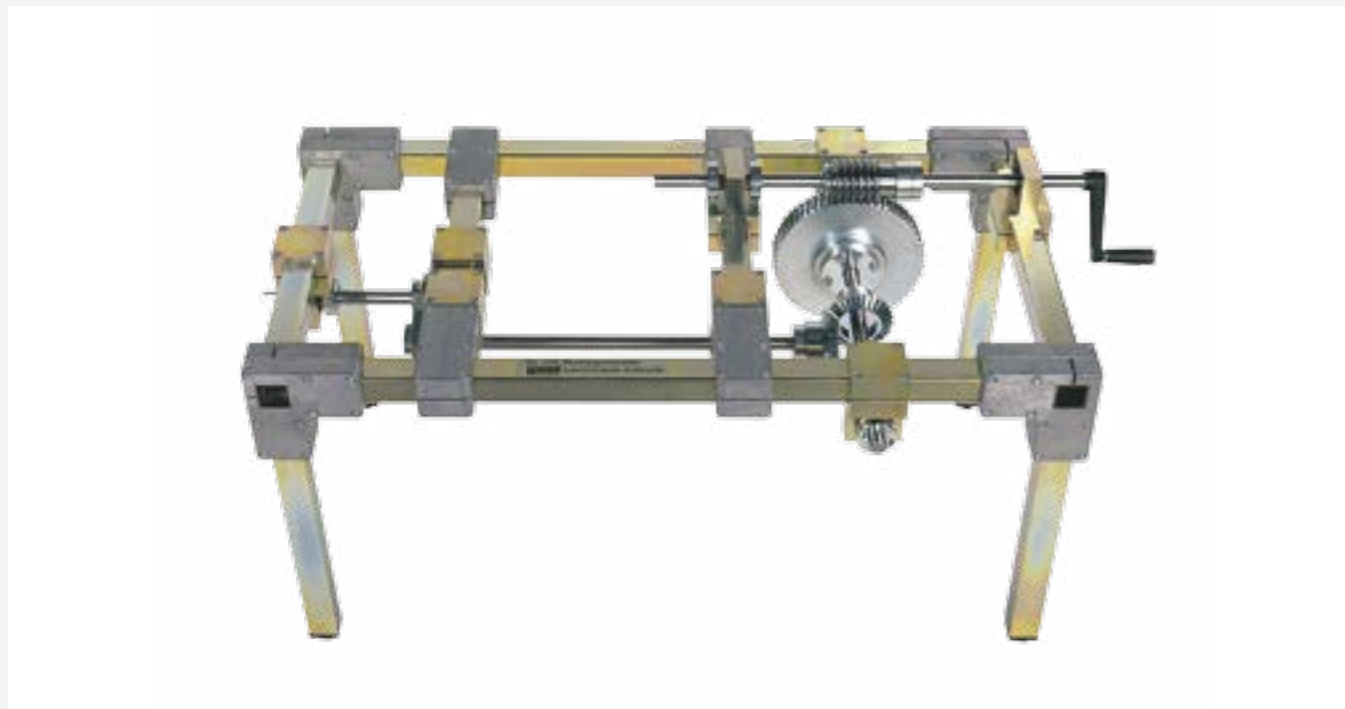
Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

GL 420

Montage d'entraînements combinés



Description

- **kit d'assemblage flexible et robuste pour la technique avancée des engrenages mécaniques**
- **lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels**
- **montage simple et rapide**

Différents types d'engrenages peuvent être combinés les uns aux autres, pour obtenir différentes fonctions essentielles de transmission, ainsi que de nouvelles propriétés. L'association ou interconnexion peut être effectuée sous forme de montage en série ou en parallèle. Plusieurs niveaux de roues dentées sont souvent montés les uns à la suite des autres, afin par exemple d'augmenter les rapports de transmission.

Le GL 420 offre des exercices d'approfondissement sur les principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

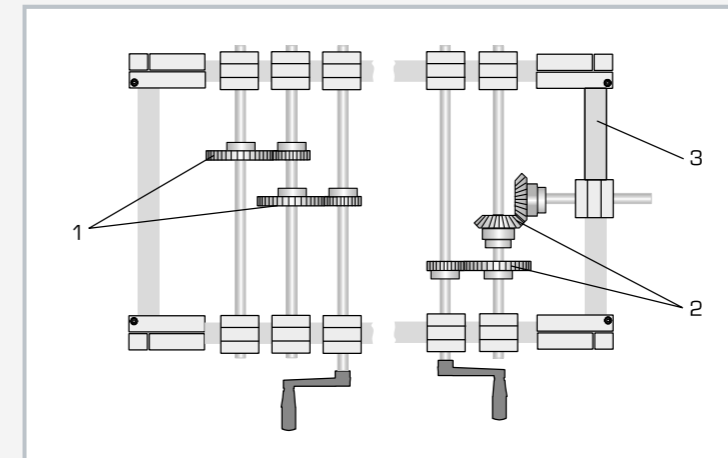
Le système d'exercices permet d'assembler six types d'engrenages différents dans des associations différentes.

La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages. Différents exercices sont effectués successivement: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrènements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

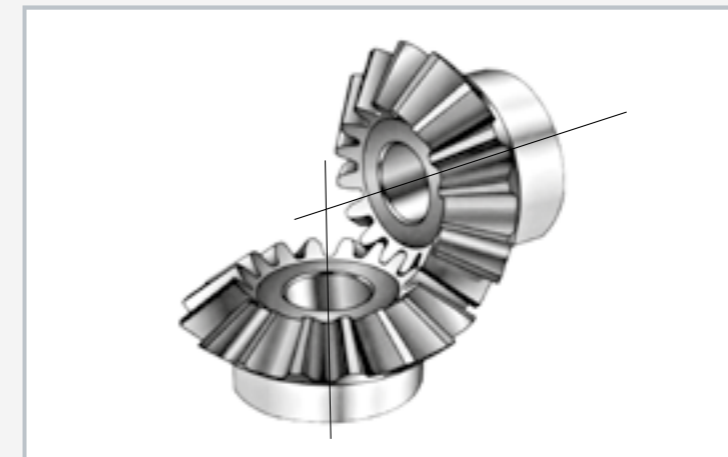
Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.

Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les formes et composants principaux de la technique d'engrenages mécanique
 - ▶ double entraînement par courroie
 - ▶ entraînement par chaîne avec roue de tension et transmission par roue droite
 - ▶ engrenage droit à deux étages
 - ▶ engrenage combiné à roues coniques et à roues droites
 - ▶ engrenage combiné à vis sans fin et à roues coniques
 - ▶ entraînement à crémaillère avec engrenage droit
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages, en association avec des exercices d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension de dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques



1 engrenage droit à deux étages, 2 engrenage combiné roues droites-roues coniques, 3 bâti constitué de tubes en acier de profil carré



Engrenage à roues coniques: Arbre d'entraînement et arbre de sortie sont positionnés à un angle de 90° l'un par rapport à l'autre. La forme externe des roues dentées (enveloppe) correspond à des cônes. Les axes médians se coupent.

Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec des engrenages combinés
- [2] entraînements par courroie à deux étages
- [3] entraînements par chaîne avec roue de tension et transmission par roue droite
- [4] engrenages droits à deux étages
- [5] engrenage combiné à roues coniques et à roues droites
- [6] engrenage à vis sans fin et engrenage à roues coniques
- [7] entraînement à crémaillère avec engrenage droit
- [8] activation par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide constitué de tubes en acier de profil carré

Caractéristiques techniques

Poules pour courroies dentées

- nombre de dents: $z=30, 32, 48, 60$

Roues à chaîne

- nombre de dents: $z=20, 30$
- DIN 8192 ISO 10B-1

Roues dentées

- nombre de dents: $z=30, 36, 50, 60$
- module: $m=2\text{mm}$

Paire de roues coniques

- nombre de dents: $z=30$
- module: $m=3\text{mm}$
- rapport de transmission: $i=1$
- angle entre les axes: 90°

Lxlxh: 1000x500x500mm (bâti monté)

Poids: env. 72kg

Lxlxh: 600x400x120mm (système de rangement)

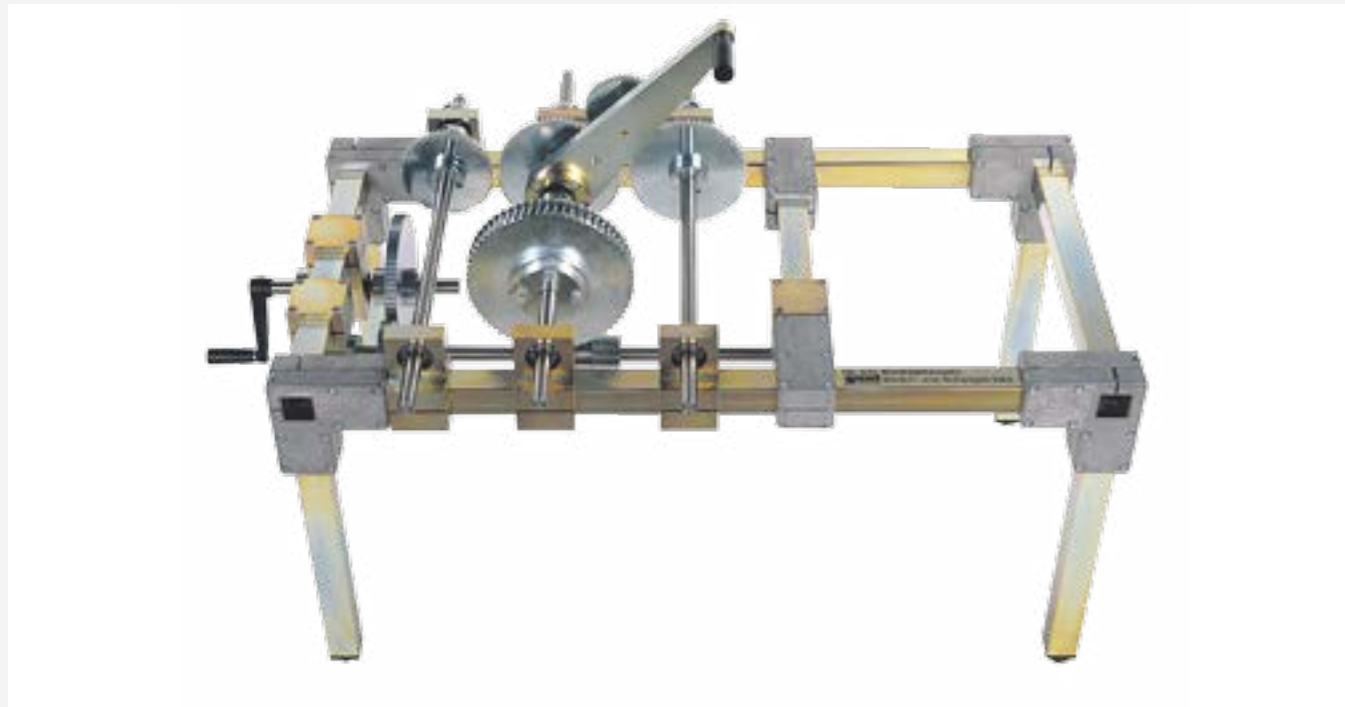
Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

GL 430

Montage de boîtes de vitesse



Description

- kit d'assemblage flexible et robuste pour la technique avancée des engrenages mécaniques
- lien étroit avec la pratique, grâce à l'utilisation de composants industriels
- montage simple et rapide

Les boîtes de vitesse sont également appelées variateurs ou harnais d'engrenage à changement de vitesse. Elles se distinguent par le fait que la vitesse de rotation est transmise différemment par diverses paires de roues dentées. L'exemple le plus connu est celui de la boîte de vitesse automobile, qui dispose d'une paire de roues dentées pour chaque vitesse.

Le GL 430 offre différents montages de boîtes de vitesse, qui servent d'introduction aux principes de base de la technique d'engrenages. L'accent est mis sur le montage conforme à la pratique de composants d'engrenages.

Le système d'exercices permet d'assembler six engrenages différents dans des associations différentes.

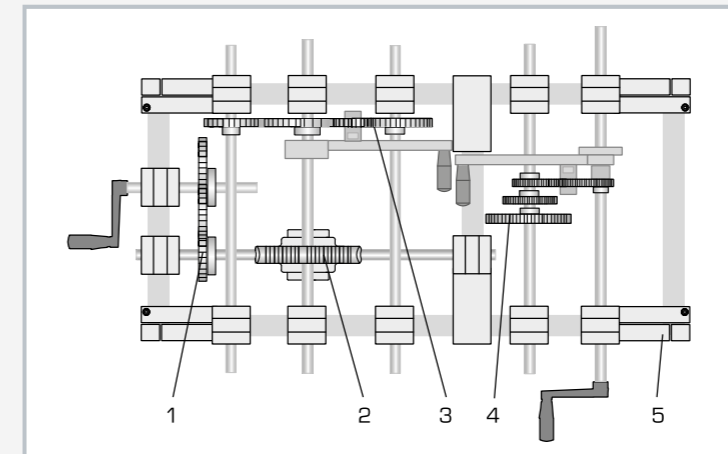
La modularité des composants est telle qu'il est possible de transposer ses propres idées, et de réaliser et tester différents types d'engrenages.

Différents exercices sont effectués à la suite: compréhension de la problématique et lecture du dessin, montage des composants, étalonnage et contrôle des engrenages, réalisation de calculs. L'entraînement est assuré par une manivelle. Un bâti robuste constitué de tubes en acier de profil carré, ainsi que différents paliers, offrent une précision suffisante pour pouvoir ajuster les engrènements de manière précise. Tous les composants de montage du système d'exercices sont à portée de main, et bien protégés dans un système de rangement.

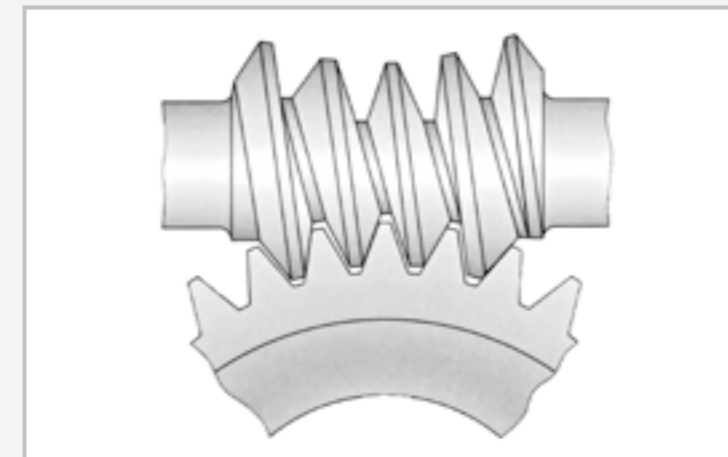
Dans cette série, GUNT propose trois kits d'assemblage différents: ils vont des engrenages simples GL 410 aux boîtes de vitesse GL 430, en passant par les engrenages combinés GL 420. Les kits d'assemblage sont conçus de façon à pouvoir être utilisés complètement indépendamment les uns des autres.

Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les formes et composants principaux de la technique mécanique d'engrenages
 - ▶ commande par poulies à gradins
 - ▶ train baladeur
 - ▶ train baladeur Norton
 - ▶ renversement de marche
 - ▶ harnais d'engrenage à changement de vitesse
 - ▶ tablier (vis sans fin basculante)
- calculs sur des engrenages mécaniques
- montage pratique de différents engrenages avec exercices simples d'ajustage et d'alignement
- lecture et compréhension des dessins industriels, familiarisation avec les termes techniques



1 engrenage droit, 2 engrenage à vis sans fin, 3 harnais d'engrenage à changement de vitesse, 4 train baladeur Norton, 5 bâti constitué de tubes en acier de profil carré



Engrenage à vis sans fin

Spécification

- [1] montage, démonstration et essais avec différentes boîtes de vitesse
- [2] commande par poulies à gradins
- [3] train baladeur
- [4] train baladeur Norton
- [5] renversement de marche
- [6] harnais d'engrenage à changement de vitesse
- [7] tablier (vis sans fin basculante)
- [8] actionnement par manivelle
- [9] utilisation de composants industriels
- [10] bâti universel solide, constitué de tubes en acier de profil carré

Caractéristiques techniques

Roues droites

- nombre de dents: $z=24, 30, 36, 40, 45, 50, 60, 76, 80, 95$
- module: $m=2\text{mm}$

Engrenage à vis sans fin

- vis sans fin
 - ▶ nombre de dents: $z=6$
- roue à vis sans fin
 - ▶ nombre de dents: $z=62$
 - ▶ module: $m=3,15\text{mm}$

Lxlxh: 1000x500x500mm (bâti monté)

Poids: env. 80kg

Lxlxh: 600x400x120mm (système de rangement)

Lxlxh: 600x400x170mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 bâti
- 1 jeu de paliers
- 1 jeu de composants d'engrenages
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

GL 200

Engrenage d'un tour



Description

■ aperçu clair et sans danger des fonctions des engrenages d'un tour d'atelier

L'engrenage d'un tour GL 200 présente toutes les caractéristiques et propriétés essentielles d'un tour d'atelier: un engrenage principal commutable, un engrenage d'avance pour l'entraînement de la vis-mère (train baladeur Norton), un harnais d'engrenage à changement de vitesse et un renversement de marche.

L'actionnement est assuré par une manivelle avec cadran gradué. Les processus se déroulent par conséquent à vitesse réduite, et sans aucun danger.

Sur cet appareil d'essai, le coulisseau porte-outils exécute uniquement un mouvement longitudinal. L'avance longitudinale automatique est assurée par une vis-mère. Un tambour amovible simule la pièce à usiner, et une pointe traçante remplace l'outil de coupe.

Les composants des engrenages sont exposés à la vue, ce qui permet de bien voir la manière dont ils fonctionnent. Tous les essais peuvent être facilement répétés, et de nombreuses variantes sont possibles.

Contenu didactique/essais

- étude de l'ensemble des fonctions d'engrenage principales d'un tour d'atelier
- engrenage principal
- harnais d'engrenage à changement de vitesse
- renversement de marche
- engrenage d'avance (train baladeur Norton)

Spécification

- [1] construction et fonction d'un engrenage de tour
- [2] appareil d'essai entièrement fonctionnel
- [3] aperçu optimal grâce à la construction ouverte
- [4] engrenage principal commutable
- [5] train baladeur Norton comme engrenage d'avance pour l'entraînement de la vis-mère
- [6] harnais d'engrenage à changement de vitesse et un renversement de marche
- [7] enregistrement de l'avance sur papier par un tambour sur la broche principale
- [8] actionnement par manivelle

Caractéristiques techniques

Nombre de vitesses de la broche principale: 9

Nombre d'étages de l'engrenage d'avance: 7

Lxlxh: 750x500x800mm

Poids: env. 42kg

Liste de livraison

- 1 entraînement de tour d'atelier
- 1 documentation didactique

Des manuels de haute qualité



La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués. La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin, sur place.

AT 200

Détermination du rendement des engrenages



2E

Description

- rendement mécanique d'engrenages
- moteur triphasé comme entraînement et frein à particules magnétiques comme unité de freinage
- comparaison de l'engrenage à vis sans fin et de l'engrenage droit

AT 200 est un dispositif d'essai complet composé d'une unité d'entraînement et d'une unité de freinage ainsi que de deux engrenages différents. La détermination de la puissance d'entraînement et de la puissance de freinage sert à déterminer les rendements mécaniques. Les éléments utilisés sont courants en technique d'entraînement et offrent donc une relation étroite avec la pratique.

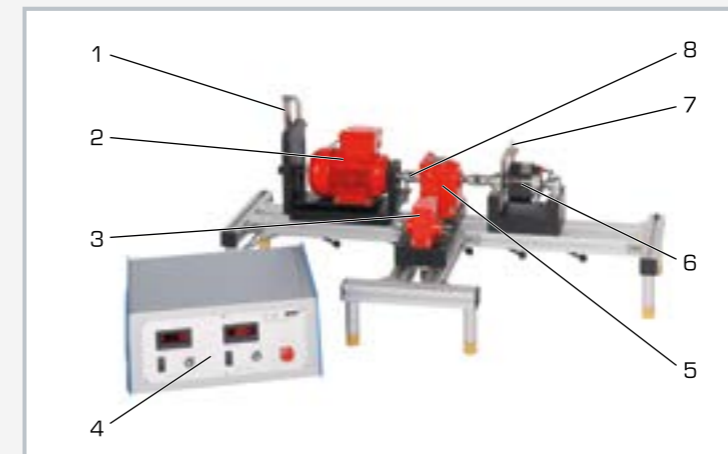
Un moteur triphasé à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence sert d'unité d'entraînement. Un frein à particules magnétiques sert d'unité de freinage. L'action constante du frein peut être réglée avec précision par l'intermédiaire du courant d'excitation, elle sert ainsi de charge réglable. Un essai complémentaire permet d'étudier les propriétés du frein à particules magnétiques.

Un engrenage droit à deux étages et un engrenage à vis sans fin sont disponibles pour des études. Les propriétés caractéristiques des engrenages sont déterminées en fonction de la puissance du moteur. Des accouplements élastiques relient les engrenages au moteur et au frein.

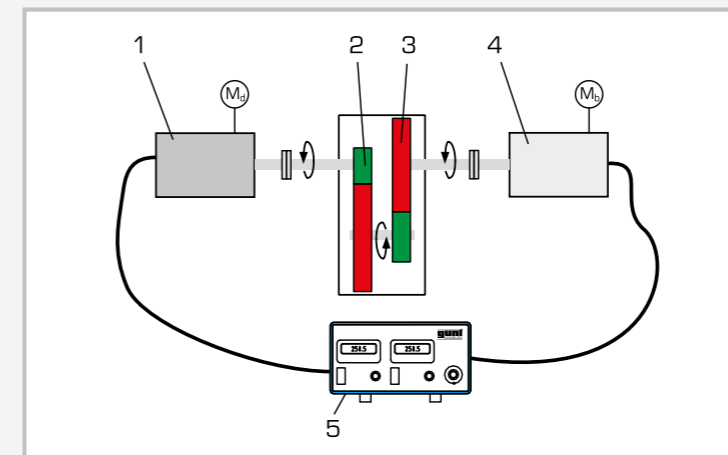
Pour la détermination des couples, le moteur et le frein sont à suspension pendulaire. La mesure des couples se fait à l'aide de balances à ressort et de bras de levier. La vitesse de rotation du moteur est saisie sans contact à l'aide d'un capteur de course inductif sur l'arbre du moteur et affiché numériquement. Le courant d'excitation du frein à particules magnétiques sert à mesurer le couple de freinage et est également affiché.

Contenu didactique/essais

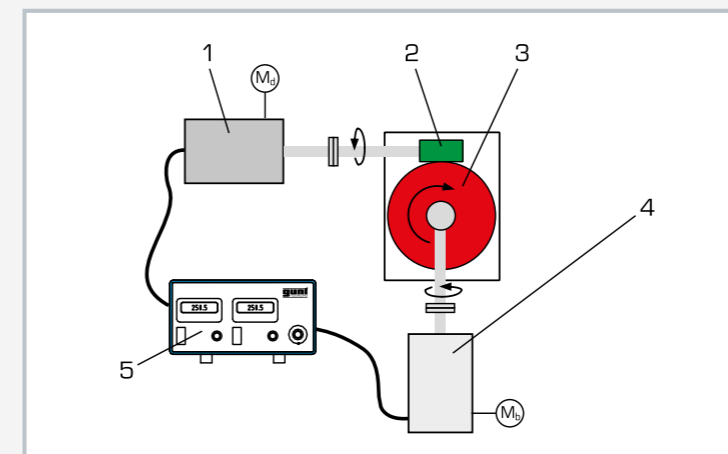
- détermination du rendement mécanique d'engrenages par le biais de la comparaison entre la puissance mécanique d'entraînement et de freinage pour
 - ▶ engrenage droit, à deux étages
 - ▶ engrenage à vis sans fin
- enregistrement de la caractéristique couple-intensité d'un frein à particules magnétiques
- technique d'entraînement et de régulation



1 balance à ressort, 2 moteur, 3 engrenage à vis sans fin, 4 appareil d'affichage et de commande, 5 engrenage droit, 6 frein, 7 bras de levier du frein, 8 accouplement



Détermination du rendement avec un engrenage droit à deux étages: 1 moteur, 2 premier étage, 3 deuxième étage, 4 frein, 5 appareil d'affichage et de commande; M_1 couple d'entraînement, M_2 couple de freinage



Détermination du rendement avec un engrenage à vis sans fin: 1 moteur, 2 vis sans fin, 3 roue hélicoïdale, 4 frein, 5 appareil d'affichage et de commande; M_1 couple d'entraînement, M_2 couple de freinage

Spécification

- [1] détermination de rendements mécaniques sur des engrenages
- [2] étude sur l'engrenage à vis sans fin et sur l'engrenage droit à 2 étages
- [3] moteur triphasé à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence
- [4] frein à particules magnétiques avec couple de freinage réglable par le courant d'excitation
- [5] capteur de vitesse de rotation inductif sur moteur
- [6] affichage de la vitesse de rotation et du courant d'excitation
- [7] détermination des couples sur le moteur et sur le frein au moyen de balances à ressort et de bras de levier

Caractéristiques techniques

Moteur triphasé à vitesse de rotation variable

- puissance: 0,25kW
- vitesse de rotation: 0...3000min⁻¹

Frein à particules magnétiques

- couple nominal de freinage avec courant d'excitation de 0...0,37A: 0...10Nm

Engrenage droit à deux étages

- rapport de transmission: $i=13,5$
- couple: 23,4Nm

Engrenage à vis sans fin

- rapport de transmission: $i=15$
- couple: 10Nm
- vis sans fin: $z=2$
- roue hélicoïdale: $z=40$

Plages de mesure

- vitesse de rotation: 0...3000min⁻¹
- courant d'excitation 0...0,37A
- force: 1x 0...25N, 1x 0...100N

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1060x600x420mm (appareil d'essai)

Poids: env. 35kg

Lxlxh: 420x450x180mm (appareil d'affichage et de commande)

Poids: env. 10kg

Liste de livraison

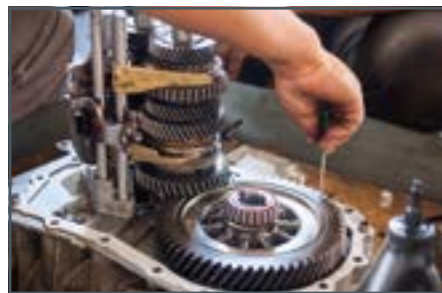
- 1 appareil d'essai
- 2 engrenages
- 1 balance à ressort
- 1 frein
- 1 unité d'entraînement
- 1 documentation didactique

Exercices de montage

Processus de montage

Dans la production industrielle, le terme de montage désigne l'assemblage planifié de composants et modules préusinés, pour obtenir un produit, agrégat ou appareil fini.

Le processus global de montage se décompose en opérations de montage:



Assemblage (DIN 8593)

- agencement
- remplissage
- pressage et incrustation
- assemblage par formage
- assemblage par façonnage
- soudage
- brasage
- collage
- assemblage textile



Manipulation (VDI 2860)

- enregistrement
 - modification des quantités
 - ▶ partage
 - ▶ nettoyage
- mouvement
 - ▶ rotation
 - ▶ déplacement
- sécurisation
 - ▶ arrêt
 - ▶ déblocage
- contrôle
 - ▶ test



Opérations spéciales

- nettoyage
- calibrage
- marquage
- lubrification
- ...

Construction adaptée au montage

Une construction est adaptée de manière optimale au montage, lorsque les étapes de travail requises pour l'assemblage du produit sont peu nombreuses, simples, clairement définies et obligatoires. De la même façon, le montage parallèle de modules doit être planifié dès la construction. Si l'on prévoit un montage entièrement automatisé, des solutions bien étudiées seront

requises, en particulier pour la saisie automatique et sécurisée de la pièce à usiner. Pour avoir une construction adaptée au montage, il faut tenir compte, pour ce dernier, des prérequis et conditions environnantes lors de l'assemblage du produit. La construction adaptée au montage ne peut être enseignée dans le cadre d'un cours théorique; elle doit être pratiquée.

Conditions de conception

Extrait du livre allemand: Principes de base de la conception mécanique, Klaus-Jörg Conrad

Règles pour la conception de pièces adaptées au montage:

- concevoir les pièces de manière à ce qu'il ne soit pas nécessaire de les ordonner avant le montage
- simplifier la position et l'orientation des pièces au moyen de caractéristiques externes, comme par exemple une forme symétrique
- faciliter le positionnement par des biseaux, inserts, lamages, guidages, etc.
- concevoir des points d'assemblage accessibles aux outils, et qui permettent l'observation du processus de montage

Règles pour la conception de modules adaptés au montage:

- ajout progressif des produits sur des modules bien définis et testables, afin de pouvoir effectuer les opérations de montage avec des mouvements simples
- sélectionner des tolérances adaptées au fonctionnement, mais pas trop restrictives
- observer le démontage et le recyclage lors de la conception
- simplifier ou éviter les procédés d'ajustage par une bonne accessibilité
- réduire le nombre de pièces et de points d'assemblage
- concevoir des modules récurrents

Exercices de montage

Les exercices de montage de GUNT font partie de la GUNT-Practice Line. Cette série d'appareils a été conçue spécialement pour les domaines du montage, de la maintenance et de la réparation (voir également le catalogue 2). Associés aux modèles en coupe, ces appareils constituent un complément pratique pour le cours de conception mécanique. Avec nos exercices de montage, nous offrons aux professeurs une interface entre les contenus d'apprentissage généraux orientés sur la théorie, et les travaux pratiques en lien étroit avec les applications.

Objectifs didactiques

Acquérir des connaissances étendues en technique de montage en tant que principe de base de la construction des composants

S'initier aux termes et au langage techniques

Se familiariser avec les éléments de machine et les pièces normalisées

Reconnaître des modules, comprendre des fonctions, décrire des systèmes

Lire et comprendre les documents techniques

Planifier et exécuter des étapes et procédures de montage

Se familiariser avec les outils et dispositifs typiques

Contrôler et évaluer les résultats du travail



Exemple de liste de livraison typique pour nos exercices de montage avec l'engrenage droit MT 152:

Engrenages droits décomposés en pièces détachées, livrés dans une valise en métal solide

Dessin industriel

Plan de montage

Extrait de la documentation

Engrenage droit entièrement monté

MT 170**Montage d'un arbre avec paliers lisses**

L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et, au premier plan, le palier lisse entièrement monté.

Description

- **exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique : arbre avec paliers lisses**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Sur les paliers lisses, un mouvement de glissement a lieu entre un tourillon et un coussinet de palier. Ce mouvement de glissement est habituellement lubrifié par un fluide intermédiaire. Grâce à l'effet amortissant du lubrifiant dans l'interstice du palier, les paliers lisses fonctionnent de façon particulièrement régulière et silencieuse. Ils amortissent également les vibrations et les chocs provoqués, par exemple, par les roues dentées ou les mécanismes bielle-manivelle. Les paliers lisses sont insensibles aux fortes charges par à-coups, et sont donc fréquemment utilisés sur les machines à piston, les poinçonneuses ou les presses.

Le MT 170 est constitué d'un arbre en acier poli et de deux chaises paliers divisées horizontalement. Les paliers lisses du MT 170 sont lubrifiés à la graisse, ce qui facilite leur montage. Dans le coussinet de palier supérieur, se trouve un orifice de lubrification avec filet intérieur. On peut y visser un graisseur Stauffer, via un tube intermédiaire pour

l'alimentation du palier en lubrifiant.

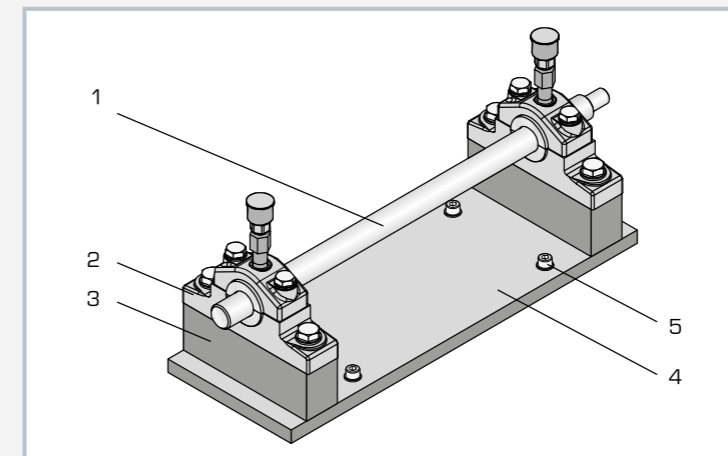
La surface de roulement sans charge du coussinet de palier supérieur est pourvue d'une rainure plate de lubrification. Une répartition de la graisse sur toute la largeur du palier est ainsi obtenue. La graisse non seulement sert de lubrifiant, mais protège également le palier de la saleté et des corps étrangers.

Le kit d'assemblage MT 170 fait partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation; il est conçu pour l'apprentissage pratique dans l'enseignement professionnel et les centres de formation continue. Il offre un lien évident et étroit entre les connaissances théoriques et pratiques.

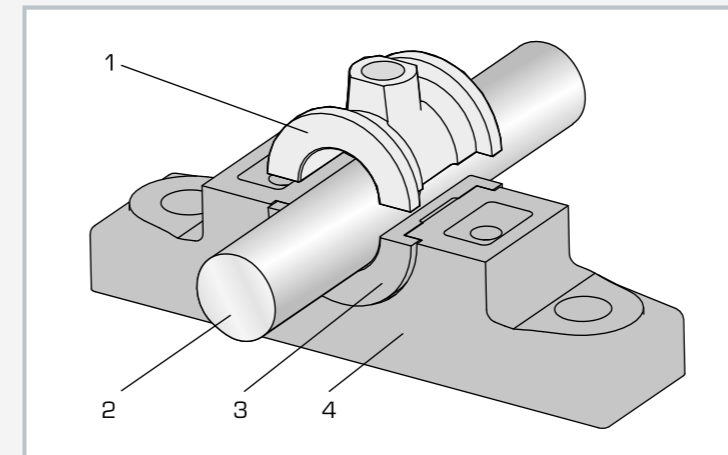
Le MT 170 permet de monter et de démonter un palier lisse simple. L'étudiant ou apprenti se familiarise avec les composants et leur mode de fonctionnement. Les différentes pièces sont disposées de manière claire, et bien protégées dans une caisse à outils. La documentation didactique décrit de manière détaillée chaque étape de travail, et donne des informations supplémentaires sur le domaine d'application, le mode de fonctionnement et la structure de construction du palier.

Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un palier lisse simple
- montage et démontage, également à des fins de maintenance et de réparation
- mesure du jeu de palier
- vérification de l'alignement
- lecture et compréhension de dessins industriels et de notices d'utilisation
- études des caractéristiques de fonctionnement du palier lisse (avec le MT 172)



1 arbre en acier, 2 chaise palier 3 entretoise 4 plaque de base, 5 vis de fixation pour l'insertion du MT 170 dans le MT 172



1 coussinet de palier supérieur, 2 arbre, 3 coussinet de palier inférieur 4 support de palier

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un arbre avec paliers lisses
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] chaise palier divisée horizontalement selon la DIN 505, lubrifiée à la graisse
- [4] arbre en acier trempé et poli
- [5] 2 chaises paliers avec coussinets de palier divisés
- [6] jeu de bandes en plastique pour la mesure du jeu de palier
- [7] contrôle de l'alignement du palier à l'aide d'une pâte de contrôle d'ajustement
- [8] jeu d'outils complet pour le montage
- [9] pièces détachées des paliers lisses et outils rangés dans une solide caisse à outils en tôle d'acier

Caractéristiques techniques

- Arbre
- Ø=25mm
 - tourillon d'arbre pour accouplement: Ø=16mm

Matériaux

- chaise palier, chapeau de palier: fonte grise
- coussinets de palier: bronze selon la DIN 8221
- arbre: acier trempé, poli
- graisseur Stauffer: acier

Lxhx: 640x230x230mm (caisse à outils)
Poids: env. 45kg

Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un palier lisse
- 1 accouplement à soufflet métallique pour raccordement au MT 172
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

MT 171

Montage d'un palier lisse hydrodynamique



L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et l'insert à compartiments pour les pièces détachées. Au premier plan, on voit un palier lisse entièrement monté.

Description

- exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique: le palier lisse hydrodynamique
- partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation

Sur les paliers lisses, un mouvement de glissement a lieu généralement entre un tourillon et un coussinet de palier. Ce mouvement de glissement est habituellement lubrifié par un fluide intermédiaire. Les paliers lisses hydrodynamiques conviennent pour un fonctionnement continu sans usure, les grands diamètres, les vitesses de rotation élevées, et les fortes charges par à-coups. Ils ont habituellement la forme de paliers divisés. La chaleur de friction dégagée en fonctionnement doit être évacuée par le lubrifiant.

Le MT 171 est une chaise palier lisse hydrodynamique divisée horizontalement. Les coussinets de palier s'appuient sur une surface sphérique dans le logement de palier pour transmettre les forces de manière régulière vers la partie inférieure du logement. La lubrification du palier lisse est assurée par une bague de graissage mobile. Les huiles minérales d'usage courant dans le commerce peuvent être utilisées.

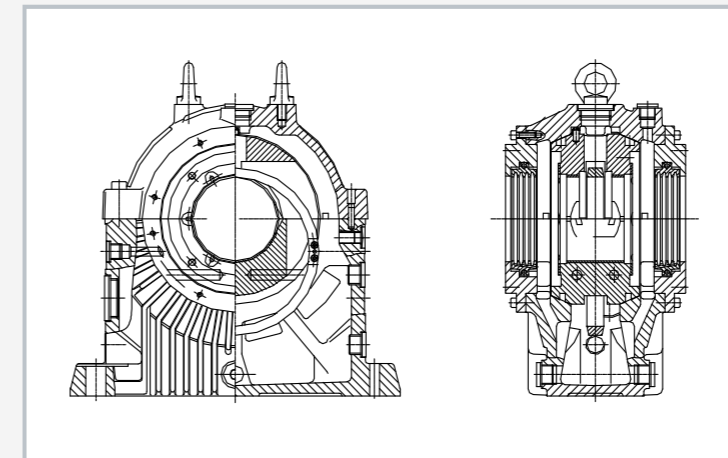
Le palier est livré avec un arbre intermédiaire. Il permet de réaliser un montage judicieux et un test fonctionnel.

Le kit d'assemblage MT 171 fait partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation; il est conçu pour l'apprentissage pratique dans l'enseignement professionnel et les centres de formation continue. Il offre un lien évident et étroit entre les connaissances théoriques et pratiques. Le MT 171 permet de monter et de démonter un palier lisse hydrodynamique. L'étudiant ou apprenti se familiarise avec les composants et leur mode de fonctionnement.

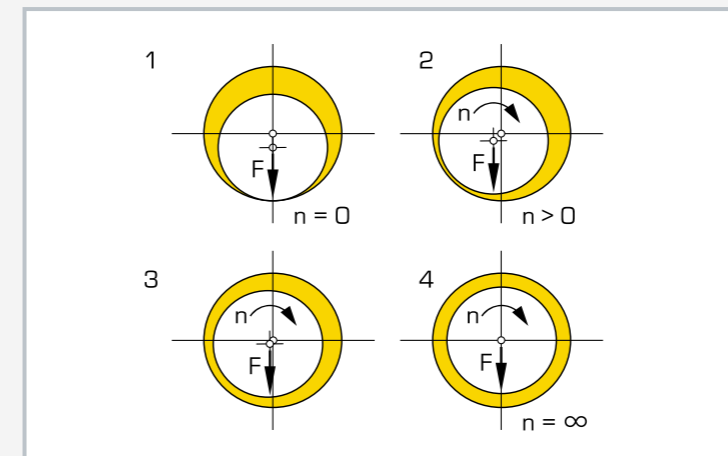
Les différentes pièces sont disposées de manière claire, et bien protégées dans une caisse à outils. La documentation didactique décrit de manière détaillée chaque étape de travail, et donne des informations supplémentaires sur le domaine d'application, le mode de fonctionnement et la structure de construction du palier.

Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un palier lisse hydrodynamique
- principes de la lubrification et éléments d'étanchéité
- montage et démontage, également à des fins d'entretien et de réparation
- lecture et compréhension des dessins industriels et des notices d'utilisation



Dessin en coupe d'un palier lisse hydrodynamique



Mode de fonctionnement d'un palier lisse hydrodynamique 1 à 4: formation d'un film d'huile porteur avec une vitesse de rotation croissante

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un palier lisse hydrodynamique
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] palier lisse selon la DIN 31690
- [4] arbre d'entraînement en acier inoxydable
- [5] lubrification par bague de lubrification à l'huile
- [6] joint flottant pour l'étanchéité frontale de l'arbre
- [7] étanchement des surfaces de contact des moitiés de logement, à l'aide d'un mastic d'étanchéité non durcissant
- [8] jeu d'outils complet pour le montage
- [9] pièces du palier lisse et outils rangés dans une caisse à outils en tôle d'acier

Caractéristiques techniques

Alésage du palier
■ $\varnothing=80\text{mm}$

Arbre d'entraînement
■ diamètre nominal: $\varnothing=80\text{mm}$

Matériaux

- logement de palier: fonte grise
- coussinets de palier: corps support en acier, avec revêtement en métal blanc
- joint d'étanchéité: plastique résistant aux températures élevées renforcée de fibres
- arbre: acier inoxydable

Lxlxh: 690x360x312mm (caisse à outils)
Poids: env. 60kg

Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un palier lisse hydrodynamique
- 1 arbre d'entraînement
- 1 jeu d'outils
- 1 tube de mastic d'étanchéité non durcissant
- 1 documentation didactique

MT 152

Montage d'un engrenage droit

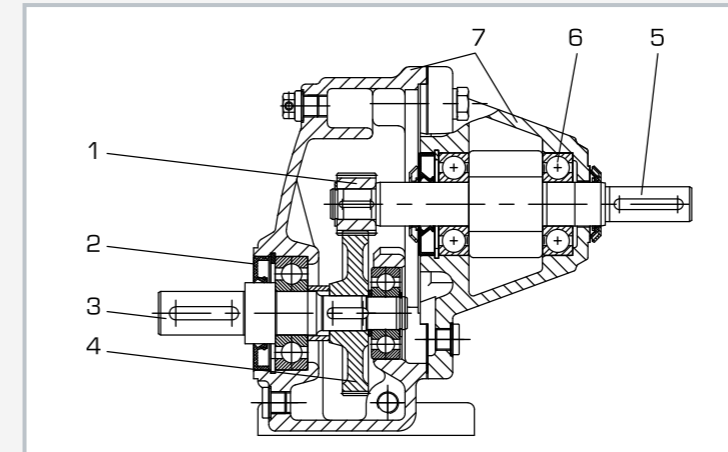


Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un engrenage droit à denture hélicoïdale
- planification et présentation des opérations de montage
- montage et démontage, également à des fins de maintenance et de réparation
- lecture et compréhension de dessins industriels
- exercices de cotation, mesure de pièces
- familiarisation avec différents éléments de machine: roulements à billes, garnitures d'étanchéité d'arbre
- familiarisation avec les auxiliaires et dispositifs de montage
- critères de sélection des matériaux



L'illustration montre l'engrenage droit entièrement monté.



1 pignon, 2 garniture d'étanchéité d'arbre, 3 arbre de sortie, 4 roue dentée, 5 arbre d'entraînement, 6 roulement à billes, 7 parties du carter

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un engrenage droit
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] engrenage droit démonté avec jeu de petites pièces et 4 dispositifs de montage livrés dans une valise stable avec mousse de protection
- [4] roues droites à denture hélicoïdale
- [5] engrenage composé d'un carter d'entraînement, d'un carter d'embase, d'arbres de sortie et d'arbres d'entraînement, d'une roue d'entraînement et d'un pignon de sortie, ainsi que de paliers

Caractéristiques techniques

Dimensions de l'engrenage sans raccords d'arbre
 ■ Lxlxh: 160x135x175mm

Transmission

- pignon: nombre de dents: $z=24$, module normal: $m=1$ mm
- roue dentée: nombre de dents: $z=68$, module normal: $m=1$ mm
- rapport de transmission: $i=2,83$

Couple de sortie max.: 54Nm à 494min⁻¹

Matériaux

- carter: fonte grise
- arbres: acier de traitement
- roues droites: acier de cémentation allié

Raccords d'arbre

- entraînement: Øxl: 16x40mm
- sortie: Øxl: 20x40mm

Lxlxh: 600x450x180mm (valise)

Poids: env. 18kg

Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un engrenage droit
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

Description

- **exemple de kit d'assemblage conforme à la pratique: l'engrenage droit**
- **champ d'apprentissage étendu avec des problématiques interdisciplinaires**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Les engrenages transmettent des mouvements rotatifs. Ils servent à adapter les couples et vitesses de rotation d'un entraînement aux besoins d'un consommateur.

Le montage MT 152 traite d'un engrenage droit à denture hélicoïdale. L'engrenage est à un étage, et a une transmission fixe (engrenage à rapport fixe). Il fait partie des engrenages autonomes, c.-à-d. qu'il s'agit d'une boîte d'engrenage avec son propre carter. Les engrenages autonomes sont le plus souvent disposés entre le moteur et la machine réceptrice, ou sont utilisés comme jeux de pièces de montage

dans des machines. Inversement, on parle d'engrenages non autonomes pour les couplages de roues dentées apparentes d'une machine.

Les roues droites à denture hélicoïdale tournent plus régulièrement et moins bruyamment que celles à denture droite, car l'engrènement des dents se déroule de manière progressive, et plusieurs dents sont en prise. Les roues droites à denture hélicoïdale conviennent aux vitesses de rotation élevées, et supportent des sollicitations plus importantes que des roues comparables à denture droite.

Le kit d'assemblage MT 152 fait partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation; il est conçu pour l'apprentissage pratique dans l'enseignement professionnel et les centres de formation continue. Il offre un lien évident et étroit entre les connaissances théoriques et pratiques.

Montage et démontage sont aisément réalisables pendant la durée habituelle d'un cours. Pour ces travaux, les outils simples fournis sont les seuls nécessaires. Les dispositifs d'ajustement de l'engrenage sont conçus de telle sorte que l'ensemble du montage puisse s'effectuer par la force manuelle.

Une forme de travail appropriée durant le cours est la collaboration, en grande partie autonome, d'un petit groupe de deux à trois élèves. Les tâches doivent être clairement définies et réparties au sein du groupe.

La documentation didactique détaillée est conforme à la pratique. Il est constitué pour l'essentiel d'un jeu complet de dessins avec un dessin global, la liste de pièces et les dessins des différentes pièces.

MT 110.02**Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin**

L'illustration montre la caisse à outils avec le kit d'assemblage et, au premier plan, l'insert avec compartiments pour les outils et les petites pièces.

Description

- **kit d'assemblage d'un engrenage industriel conforme à la pratique, réalisable avec des outils et dispositifs simples**
- **champ d'apprentissage étendu avec des problématiques interdisciplinaires**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

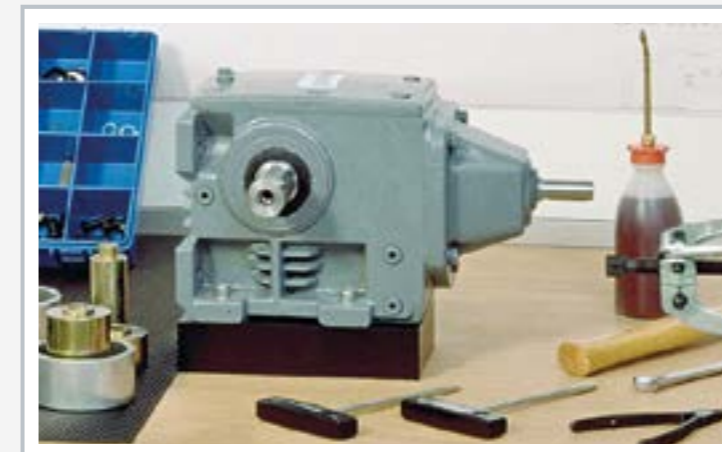
Le MT 110.02 traite d'un engrenage à deux étages. Le kit d'assemblage comprend toutes les pièces nécessaires au montage de l'engrenage. L'engrenage possède un étage d'entrée à roues droites, suivi d'un étage à vis sans fin (engrenage combiné). Les dispositifs d'ajustement de l'engrenage sont conçus de telle sorte que l'ensemble du montage puisse s'effectuer par la force manuelle. Ce kit d'assemblage est conçu sous forme de projet, permettant un travail varié et surtout interdisciplinaire durant le cours. Ce projet est particulièrement recommandé pour les cours orientés vers la pratique, associant travail autonome des élèves et travail d'équipe.

Les supports didactiques modernes fournissent des informations techniques très complètes et détaillées, qui servent de base à la conception du cours. La documentation didactique est constituée pour l'essentiel d'un jeu complet de dessins avec listes de pièces, dessins des différentes pièces, vues éclatées et dessin de montage. Tous les dessins sont en conformité avec les normes, et cotés pour la fabrication. Très utile également: l'ensemble très complet de transparents pour rétroprojecteur. Toutes les pièces sont disposées de manière claire, et bien protégées dans une caisse à outils en tôle d'acier. Les petites pièces se trouvent dans une boîte à couvercle transparent.

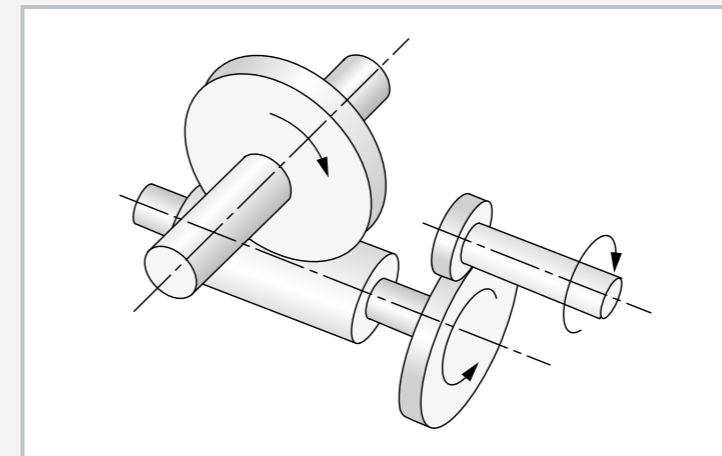
Un jeu d'outils est inclus dans la liste de livraison. L'appareil MT 172, disponible en option, permet de soumettre l'engrenage assemblé à un test fonctionnel.

Contenu didactique/essais

- fonction et construction d'un engrenage combiné
- lecture et compréhension de dessins techniques
- composants et modules, caractéristiques de construction et fonctions
- exercices de cotation, mesure de pièces
- planification du travail, en particulier planification et présentation des étapes de montage
- familiarisation avec les auxiliaires et dispositifs de montage
- exercices de montage: montage de modules et de l'ensemble
- analyse de dysfonctionnements et dommages, en association avec des opérations de maintenance et de réparation
- critères de sélection des matériaux
- avec le MT 172
 - ▶ test fonctionnel de l'engrenage monté



L'illustration montre l'engrenage combiné entièrement monté.



Principe d'entraînement de l'engrenage droit et à vis sans fin à deux étages

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'un engrenage droit et à vis sans fin
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] engrenage démonté complet avec jeu de petites pièces et 12 dispositifs de montage dans une caisse de rangement
- [4] étage droit à denture hélicoïdale
- [5] étage à vis sans fin à roue hélicoïdale avec vis sans fin cylindrique et roue globique
- [6] engrenage composé d'un carter d'entraînement, d'un carter d'embase de vis sans fin, d'arbres de sortie et d'arbres d'entraînement, d'un étage droit et d'un étage à vis sans fin

Caractéristiques techniques

Dimensions de l'engrenage sans raccords d'arbre
 ■ Lxlxh: 282x138x188mm, env. 22kg

Transmissions

- étage droit: $i=2,83$
- étage à vis sans fin: $i=12,33$
- rapport de transmission global: $i=34,89$

Étage droit

- pignon: nombre de dents: $z=24$, module normal: $m=1\text{mm}$
- roue dentée: $z=68$, $m=1\text{mm}$

Étage à vis sans fin

- vis sans fin: $z=3$
- roue hélicoïdale: $z=37$, $m=2,578\text{mm}$

Couple de sortie max.: 212Nm

Matériaux

- carters: fonte grise
- arbres: acier de traitement
- roues droites, vis sans fin: acier de cémentation allié

Raccords d'arbre

- entraînement: $\text{Øxl: } 16 \times 40\text{mm}$
- sortie: $\text{Øxl: } 30 \times 60\text{mm}$

Lxlxh: 700x380x320mm (caisse à outils)

Poids: env. 38kg

Liste de livraison

- 1 jeu complet de pièces d'un engrenage
- 1 jeu de joints
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

MT 172**Alignement d'entraînements, d'arbres et d'engrenages**

L'illustration montre le MT 172 avec un engrenage monté à partir du kit d'assemblage MT 110.02.

Description

- **montage et alignement d'éléments d'entraînement**
- **compréhension de la technique d'entraînement mécanique dans toute sa diversité**
- **test fonctionnel sur des kits d'assemblage GUNT montés**

Le MT 172 permet d'effectuer les tests fonctionnels des appareils d'essai MT 170 (arbre monté sur paliers lisses), MT 110 et MT 110.02 (engrenages combinés). L'élément assemblé – palier lisse ou engrenage – est placé dans le dispositif de contrôle MT 172. On y effectue alors le montage dans les règles de l'art de l'ensemble du système, en particulier l'alignement des composants système. Un projet de montage réussi peut ensuite être clôturé par un contrôle final formel. Les paramètres de test sont les bruits de roulement, le dégagement de chaleur, les vibrations ou les défauts d'étanchéité.

Le MT 172 comprend un moteur asynchrone monophasé pour l'entraînement, un frein à particules magnétiques avec un couple de freinage réglable, et un banc de machine rigide avec rainures en T, lequel accueille le moteur et l'élément à contrôler.

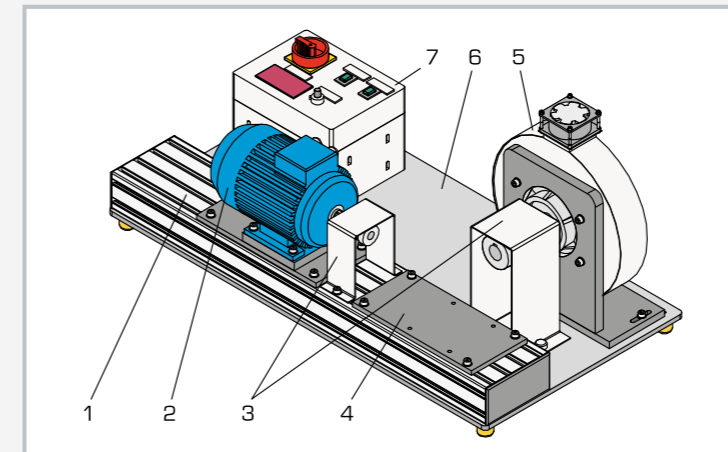
Grâce aux rainures en T, la longueur de l'espace de montage est variable, et peut ainsi être adaptée sans difficulté à l'élément en place. Deux accouplements relient l'élément au moteur et au frein. L'élève doit aligner les liaisons moteur-élément et élément-frein. Les éléments de commande se trouvent sur le coffret de commande. Le couple de freinage est réglé ici à l'aide d'un potentiomètre.

Le courant d'excitation du frein à particules magnétiques sert de mesure du couple de freinage, et est affiché sous forme numérique. Des capots de protection amovibles recouvrent les accouplements.

Le MT 172 fait partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation; il est conçu pour l'apprentissage pratique dans l'enseignement professionnel et les centres de formation continue.

Contenu didactique/essais

- en association avec les MT 170 et MT 110.02
 - ▶ montage et alignement d'engrenages ou d'arbres montés sur paliers lisses
 - ▶ planification et exécution de contrôles finaux sur un engrenage à roues droites et à vis sans fin (MT 110.02); sur un arbre monté sur paliers lisses (MT 170)
 - ▶ familiarisation avec les composants des engrenages et leurs fonctions
- en association avec l'engrenage combiné MT 110.02
 - ▶ contrôle du fonctionnement de l'engrenage avec un test de charge après le montage
 - ▶ comportement de marche de l'engrenage sous charge variable; évaluation des bruits de roulement; étude de l'échauffement; vérification de l'absence de défauts d'étanchéité
- en association avec l'arbre monté sur paliers lisses MT 170
 - ▶ caractéristiques de fonctionnement d'un palier lisse



1 banc de machine, 2 moteur d'entraînement, 3 capot de protection pour accouplement, 4 plaque de montage pour engrenage combiné, 5 frein à particules magnétiques, 6 plaque de base avec éléments élastiques d'amortissement des vibrations, 7 coffret de commande avec éléments d'affichage et de commande



L'illustration montre le MT 172 avec l'arbre monté sur paliers lisses MT 170.

Spécification

- [1] appareil d'essai pour le test fonctionnel de systèmes d'engrenages mécaniques: arbre sur paliers lisses, engrenage combiné
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] moteur asynchrone monophasé avec accouplement à soufflet métallique
- [4] frein à particules magnétiques à ventilation forcée avec accouplement à griffes, puissance de freinage réglable via un potentiomètre
- [5] banc de machine en aluminium à rainures en T pour le montage variable des composants de l'engrenage
- [6] coffret de commande avec éléments de commande et affichage numérique du courant d'excitation du frein à particules magnétiques
- [7] capots de protection pour les accouplements

Caractéristiques techniques**Moteur d'entraînement**

- moteur asynchrone à 4 pôles
- puissance max.: 0,55kW
- vitesse de rotation: 1400min⁻¹

Frein à particules magnétiques avec ventilateur et sonde de température

- couple de freinage nominal pour un courant d'excitation 0...0,4A
 - ▶ 0...45Nm
- couple de freinage max. à 1A: 110Nm
- protection thermique à bilame: 70°C

Banc de machine en aluminium avec rainures en T

- espace de montage: Lxl: 640x160mm
- écartement des rainures: 40mm
- pour coulisseaux M8

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 950x500x450mm
Poids: env. 75kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de vis, écrous à encoches, rondelles
- 1 jeu de cales
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

MT 190**Montage: machine d'essais de matériaux****Description**

- **kit d'assemblage d'un appareil pour les essais de base des matériaux**
- **extensible grâce à l'acquisition électronique de données**
- **partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation**

Le MT 190 est livré sous la forme d'un kit d'assemblage, et comprend toutes les pièces de montage mécanique, instruments de mesure, composants hydrauliques avec éléments d'étanchéité, ainsi que le matériel de tuyauterie avec toutes les pièces de raccordement. Le montage comprend le montage mécanique de base, le montage hydraulique des deux vérins, et le montage des conduites. Tous les outils et accessoires nécessaires à cet effet, ainsi qu'une documentation didactique très complète, sont inclus dans la liste de livraison.

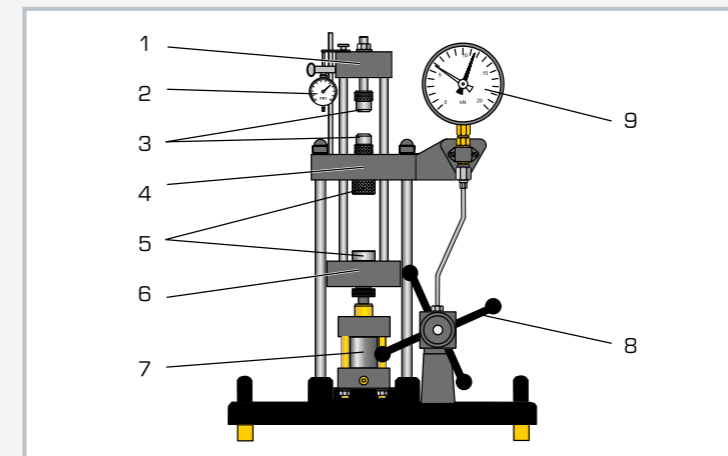
Le kit d'assemblage MT 190.01 étend les possibilités d'essai en permettant le montage d'un système d'acquisition de données. À l'aide du MT190, les étudiants ou élèves peuvent apprendre à travailler dans le cadre d'un projet complexe. Il est ici question de la planification, de la réalisation et de la vérification des procédures de montage, mise en service et réparation.

Une fois monté, l'appareil d'essai MT 190 constitue une véritable machine d'essai de matériaux entièrement fonctionnelle, permettant d'exécuter des essais de traction et des essais de dureté Brinell. L'appareil d'essai a été spécialement développé pour les essais en petits groupes, et se distingue par sa conception claire, son utilisation simple et le remplacement rapide des accessoires.

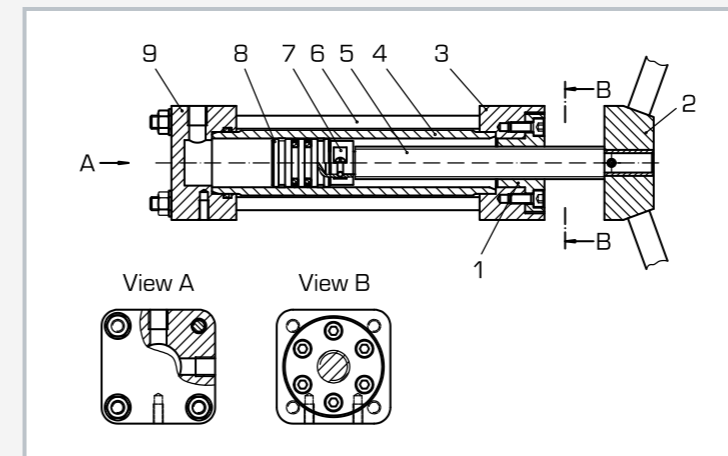
Les éprouvettes de traction sont serrées entre la traverse supérieure et la traverse fixe. Les éprouvettes de dureté sont fixées entre la traverse fixe et la traverse inférieure. La force d'essai est produite par un système hydraulique à commande manuelle, et affichée sur un dynamomètre à cadran avec aiguille entraînée. L'élongation des éprouvettes est enregistrée via la mesure du déplacement, à l'aide d'un comparateur à cadran mécanique.

Contenu didactique/essais

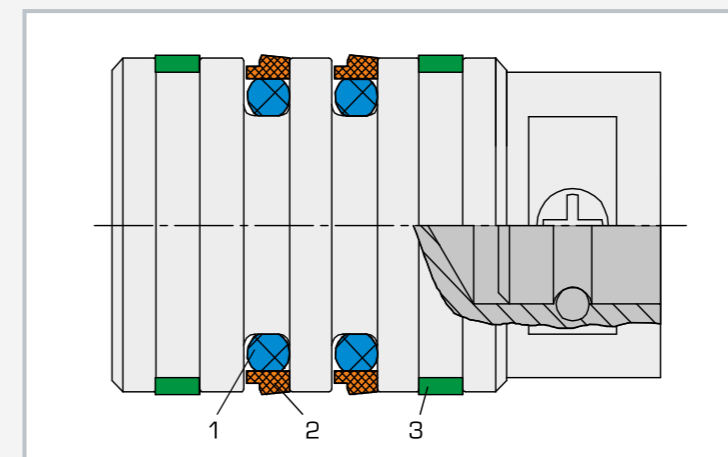
- lecture et compréhension des documents techniques
- planification et exécution des étapes et du déroulement du montage
- familiarisation avec les éléments de machine et leurs composants
- mise en service et contrôle d'une machine d'essai de matériaux, après en avoir effectué le montage
- planification, exécution et évaluation de procédures de maintenance
- analyse d'anomalies: recherche de pannes, évaluation et dépannage
- après exécution du montage
 - ▶ essai de traction sur des éprouvettes métalliques
 - ▶ enregistrement de diagrammes force-allongement
 - ▶ essai de dureté Brinell



1 traverse supérieure, 2 comparateur à cadran pour l'élongation, 3 dispositif de serrage, 4 traverse fixe, 5 élément de pression et plaque de compression, 6 traverse inférieure, 7 vérin hydraulique, 8 roue à main, 9 dynamomètre à cadran



Dessin en coupe du vérin hydraulique horizontal: 1 écrou trapèze, 2 axe du volant à main, 3 flasque côté manivelle, 4 tube du vérin, 5 tige à filet trapézoïdal, 6 boulon de serrage, 7 pièce de sécurité, 8 piston, petit, 9 flasque côté pression



Détails du piston: 1 joint torique, 2 bague d'étanchéité du piston, 3 bague de guidage

Spécification

- [1] kit d'assemblage d'une machine d'essai de matériaux
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] montage hydraulique de 2 cylindres
- [4] montage des tuyauteries du système hydraulique
- [5] essais destructifs classiques de l'essai des matériaux: essais de traction, essai de dureté Brinell
- [6] génération de forces de traction et de compression
- [7] génération de forces par un système hydraulique à commande manuelle; aucune alimentation électrique requise
- [8] dynamomètre à cadran, instrument à aiguille entraînée
- [9] comparateur à cadran pour la détermination de la longueur
- [10] éprouvettes de dureté: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [11] éprouvettes de traction conformes à la DIN 50125: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [12] kit d'assemblage d'un système d'acquisition des données MT 190.01 disponible en option

Caractéristiques techniques

Force d'essai: 20kN max.
Course: max. 45mm
Espace de montage libre pour les éprouvettes: 165x65mm
Éprouvettes de traction: B6x30mm, DIN 50125
Éprouvettes de dureté: Lxlxh 30x30x10mm
Bille pour l'essai de dureté: diamètre Ø=10mm

Plages de mesure

- force: 0...20kN, graduation: 0,5kN
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 610x520x850mm (monté)

Poids: env. 53kg

Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'une machine d'essai de matériaux
- 1 dynamomètre à cadran
- 1 comparateur à cadran pour la détermination de la longueur
- 1 jeu d'outils et d'auxiliaires de montage
- 1 jeu de petites pièces et pièces de montage (entre autres, joints)
- 1 jeu d'éprouvettes de traction
- 1 jeu d'éprouvettes de dureté
- 1 documentation didactique qui inclut: la description technique du système, le jeu de dessins complet des différentes pièces et la liste de pièces, la description des procédures de maintenance et de réparation, des propositions d'exercices

MT 190.01**Montage: acquisition de données pour essais de matériaux****Description**

- **kit d'assemblage interdisciplinaire et touchant à de nombreux domaines d'apprentissage de la mécanique et de l'électronique**
- **système d'acquisition de données entièrement fonctionnel pour une machine d'essai de matériaux avec connexion USB et logiciel**

Le MT 190.01 est livré sous forme de kit d'assemblage et comprend tous les composants et le matériel requis pour la construction d'un système professionnel d'acquisition de données. Le montage inclut le montage de base mécanique et le câblage conformément au schéma de câblage. Tous les outils et accessoires nécessaires à cet effet, ainsi qu'une documentation didactique très complète, sont inclus dans la liste de livraison.

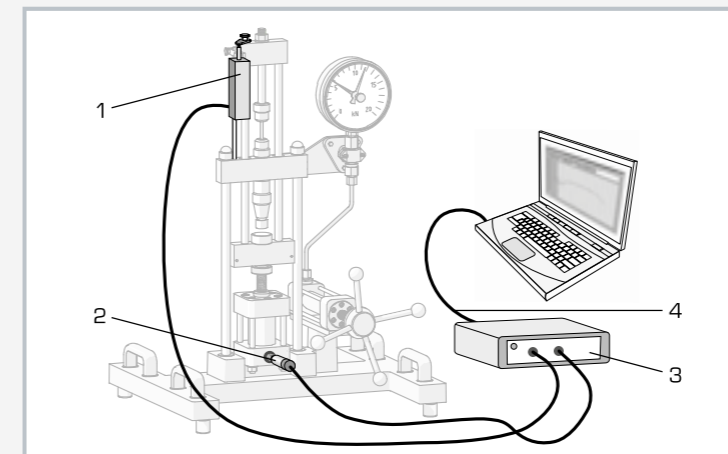
Une fois monté, le système MT 190.01 constitue un véritable système d'acquisition de données, entièrement fonctionnel, permettant de mesurer les modifications de pression (forces) et de longueur.

Ces valeurs sont exploitées sur un PC à l'aide du logiciel d'interprétation. Le système d'acquisition de données étend sensiblement les possibilités du projet de montage MT 190. Les deux projets forment ensemble une machine d'essai de matériaux moderne avec acquisition de données, convenant à un grand nombre d'essais.

À l'aide du MT190.01, les étudiants ou élèves peuvent apprendre à travailler dans le cadre d'un projet complexe. Il est ici question de la planification, de la réalisation et de la vérification des procédures de montage, mise en service et réparation.

Contenu didactique/essais

- principes de base de l'acquisition de données: familiarisation avec les capteurs, systèmes électroniques d'acquisition et d'édition des valeurs de mesure, interface, logiciel
- lecture et compréhension de documents techniques
- planification et exécution d'étapes et de procédures de montage
- mise en service et contrôle d'un système d'acquisition de données après son montage
- intégration système: raccordement de la machine d'essai de matériaux au système d'acquisition de données
- avec le système MT 190
 - ▶ enregistrement de diagrammes force-allongement ou de diagrammes contrainte-déformation
 - ▶ traitement, représentation et sauvegarde des données
 - ▶ édition des diagrammes sur imprimante



Raccordement du système d'acquisition de données à l'appareil de base: 1 capteur de déplacement, 2 capteur de pression pour la mesure de la force, 3 amplificateur de mesure, 4 câble USB



Système d'acquisition de données entièrement monté avec le CD du logiciel
Au premier plan: à gauche: capteur de pression, à droite: capteur de déplacement

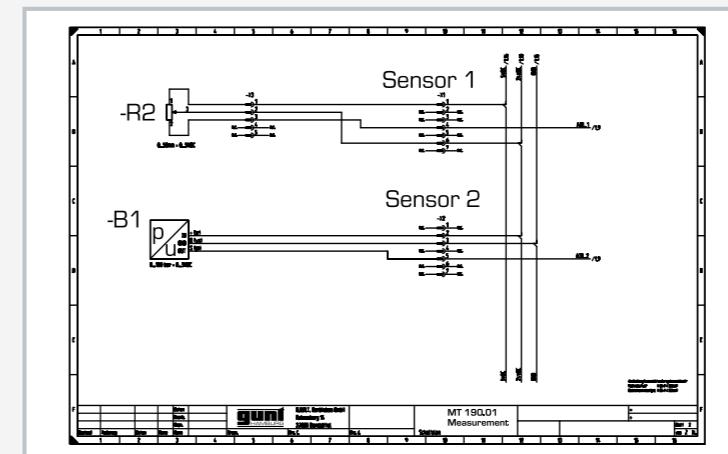


Schéma de câblage: raccordement des capteurs de pression et de déplacement

Spécification

- [1] kit d'assemblage pour la construction d'un système d'acquisition de données pour une machine d'essai de matériaux
- [2] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, la maintenance et la réparation
- [3] potentiomètre linéaire pour la mesure du déplacement
- [4] mesure de la force au moyen d'un capteur de pression
- [5] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
- [6] logiciel d'enregistrement, de traitement et de sauvegarde des diagrammes contrainte-déformation

Caractéristiques techniques

Capteur de pression pour la mesure de la force

- 0...100bar

Capteur de déplacement

- 0...50mm

Amplificateur de mesure avec connexion USB

- entrée: 0...5V
- résolution: 12bit

230V, 50Hz, 1 phase

120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxHxP: 225x200x75mm (amplificateur)

Poids: env. 5kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 kit d'assemblage complet d'un système d'acquisition de données
- 1 capteur de pression
- 1 capteur de déplacement
- 1 jeu d'outils de montage
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique qui inclut: la description technique du système, le jeu de dessins complet des différentes pièces et la liste de pièces, le schéma de câblage, la description des procédures de maintenance et de réparation, des propositions d'exercices

Essai des matériaux

Introduction	
Aperçu Méthodes d'essai mécanique	316
Aperçu Cours: principes de base de l'essai des matériaux	326

Traction, compression, flexion et dureté	
WP 300 Essai des matériaux, 20 kN	332
WP 310 Essai des matériaux, 50 kN	334
SE 100 Bâti pour essais de charge, 400 kN	336
SE 110.48 Essai de flexion, déformation plastique	338

Essai de résilience	
WP 400 Essai de résilience, 25 Nm	340
WP 410 Essai de résilience, 300 Nm	342

Essai de torsion	
WP 500 Essai de torsion, 30 Nm	344
WP 510 Essai de torsion 200 Nm, entraînement moteur	346

Fatigue du matériau	
WP 140 Essai de résistance à la fatigue	348
WP 600 Essai de fluage	350

Tribologie et corrosion	
Aperçu Tribologie et corrosion	352
TM 260 Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie	354
TM 260.01 Frottement de roulement sur des roues de friction	356
TM 260.02 Comportement élasto-hydrodynamique	358
TM 260.03 Frottement de glissement sur goupille – disque	360
TM 260.04 Vibrations à friction	362
TM 260.05 Frottement de glissement sur goupille cylindrique – rouleau	364
TM 260.06 Répartition de pression dans des paliers lisses	366
TM 232 Frottement dans les paliers	368
TM 282 Frottement dans des paliers lisses	370
TM 280 Répartition de pression dans des paliers lisses	372
TM 290 Palier lisse avec lubrification hydrodynamique	374
CE 105 Corrosion des métaux	376

Méthodes d'essai mécanique

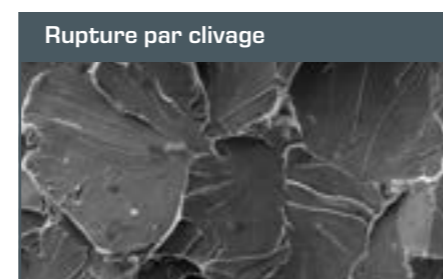
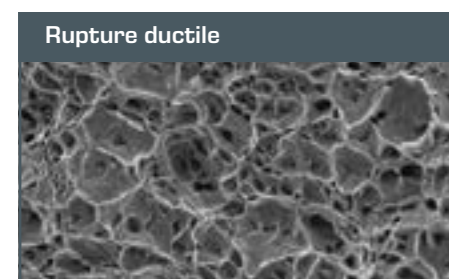
L'essai des matériaux étudie le comportement des matériaux soumis à différentes sollicitations. Il s'agit pour l'essentiel d'observer le rapport qui existe entre les forces appliquées et la déformation, ainsi que les sollicitations limites résultantes entraînant une défaillance des composants.

Les valeurs caractéristiques obtenues par les méthodes d'essai mécanique sont utilisées dans le développement des matériaux, la conception des composants, ainsi que dans l'application de l'assurance qualité. Afin de caractériser aussi précisément que possible les propriétés des matériaux, on dispose d'une série de méthodes d'essai normalisées:

Propriété mécanique	Méthode d'essai
Élasticité, plasticité	Essai de traction, essai de compression, essai de flexion, essai de torsion
Comportement des matériaux soumis à une sollicitation statique	
Comportement au fluage	Essai de fluage
Dureté	Brinell, Rockwell, Vickers
Ténacité	Essai de résilience
Comportement à la fatigue, résistance à la durée / aux efforts alternés	Essai de Wöhler

On se sert du comportement de rupture d'un matériau pour le caractériser. L'aperçu suivant montre le rapport qui existe entre le mécanisme de rupture et la sollicitation:

Forme de rupture	Mécanisme de rupture	Sollicitation
Rupture par la force <ul style="list-style-type: none"> se produit brutalement surface mate ou cristalline brillante, partiellement déshépatée sur l'ensemble de sa coupe transversale; en cas de rupture de déformation, des lèvres de cisaillement apparaissent souvent en bordure 	Sursollicitation statique <p>a) il se produit une rupture par clivage à faible déformation, lorsque la contrainte normale la plus élevée dépasse la contrainte de rupture par clivage</p> <p>b) la rupture de déformation (rupture ductile microscopique) se produit lorsque la contrainte de cisaillement la plus élevée dépasse la contrainte de fluage</p> <p>c) une rupture inter cristalline à faible déformation peut se produire en cas de diminution de la cohésion limite des grains sous l'influence d'une contrainte normale</p>	Essai de traction, essai de résilience
Rupture par fatigue <ul style="list-style-type: none"> peut apparaître au terme de sollicitations répétées sous l'influence de contraintes de cisaillement et de contraintes normales rupture à faible déformation 	Sursollicitation dynamique <p>Des fissures par vibration se propagent au travers du matériau, en raison de la présence d'entailles ou d'endroits défectueux. Lorsque la résistance du matériau est dépassée, la surface résiduelle subit une rupture par la force.</p>	Essai de Wöhler
Rupture par fluage <ul style="list-style-type: none"> phénomène continu qui dépend du temps apparaît à des températures élevées et entraîne une rupture, bien que la sollicitation du matériau soit inférieure à la limite élastique à chaud la présence de pores aux limites de grain provoque l'endommagement du matériau 	Sollicitation statique, p.ex. température élevée <p>D'innombrables fissures apparaissent indépendamment les unes des autres</p>	Essai de fluage



Essai de traction pour la détermination de la résistance à la traction et de l'allongement de rupture

L'essai de traction est considéré comme étant la principale méthode des essais destructifs des matériaux. Dans ce dernier, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance relativement faible dans la

direction longitudinale jusqu'à la rupture. Avant que la striction ne débute, l'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-allongement enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et la déformation.

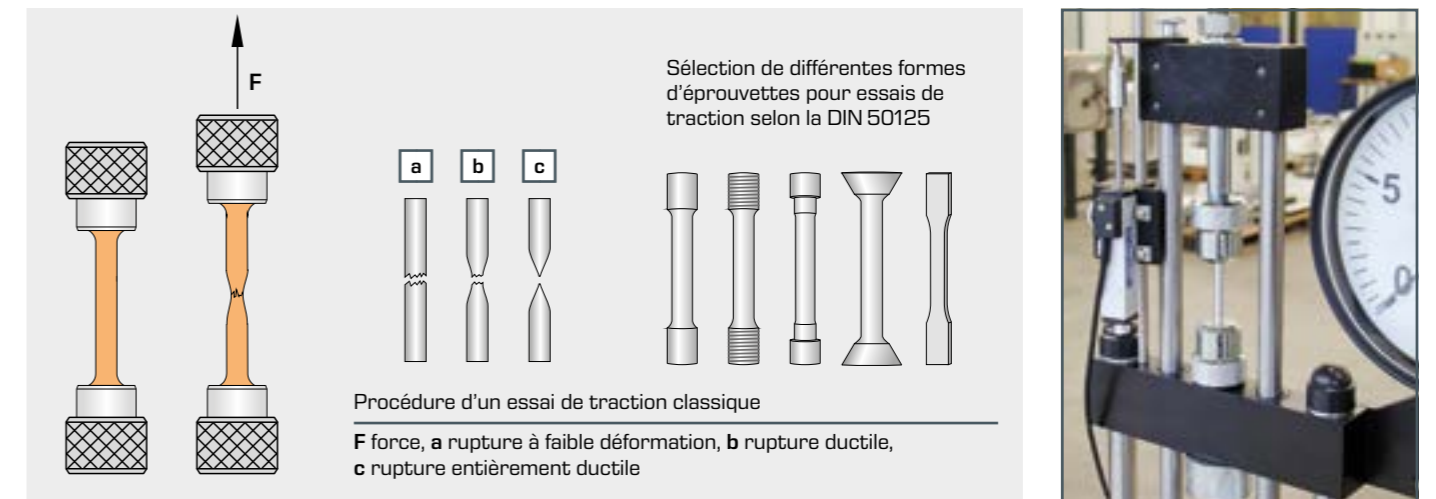
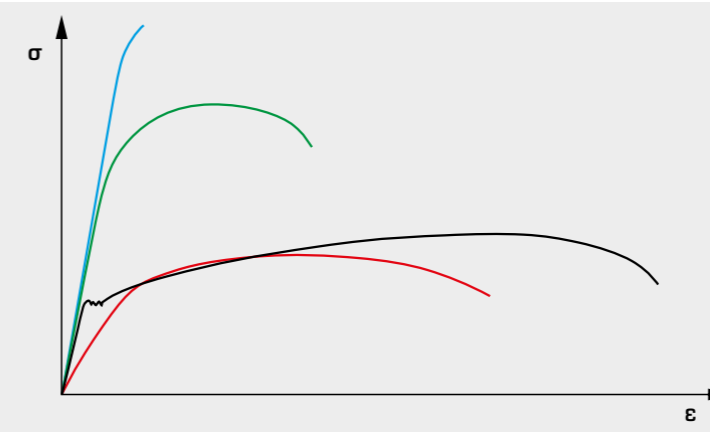
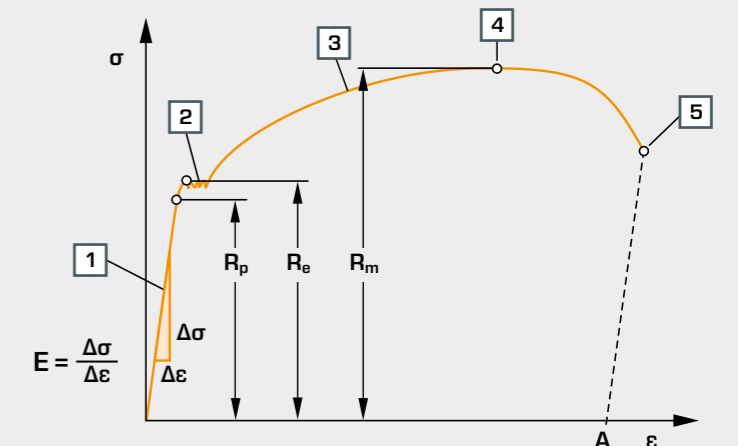


Diagramme contrainte-déformation

Le diagramme contrainte-déformation met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la traction R_m , limite d'élasticité R_e , limite de proportionnalité R_p , allongement de rupture A et module d'élasticité E .

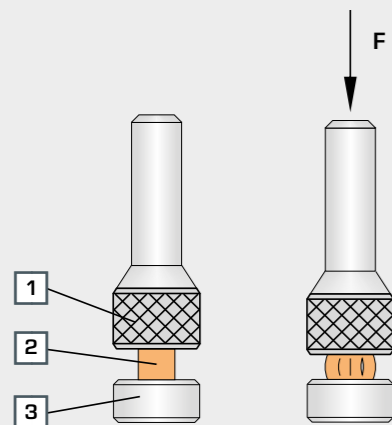


Chaque matériau a une courbe caractéristique de déformation et de contrainte.

- acier trempé: très haute résistance à la traction
- acier trempé et revenu: haute résistance à la traction
- acier de faible résistance: déformation très importante, faible résistance à la traction
- alliage d'aluminium: faible module d'élasticité

Méthodes d'essai mécanique

Essai de compression pour la détermination des courbes de fluage



Procédure de l'essai de compression

1 poinçon de compression, 2 éprouvette, 3 plaque de compression, F force d'essai

Les essais de compression tiennent une place moins importante que les essais de traction dans le contrôle des matériaux métalliques. Mais ils sont toutefois essentiels pour l'étude de matériaux tels que les pierres naturelles, les briques, le béton, le bois de chauffage, etc. Lors de ces essais, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance faible dans la direction longitudinale jusqu'à la rupture. L'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-trajectoire enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et l'écrasement. Le **diagramme contrainte-écrasement** met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques de résistance à la compression, de limite d'écrasement à 0,2%, ainsi que de contrainte de fluage de compression.

Diagramme contrainte-écrasement

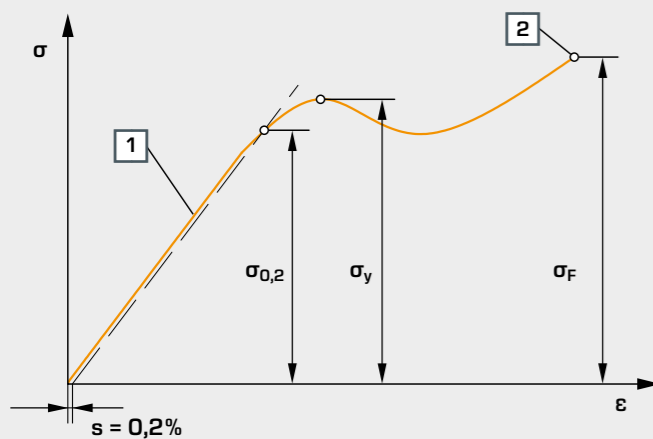
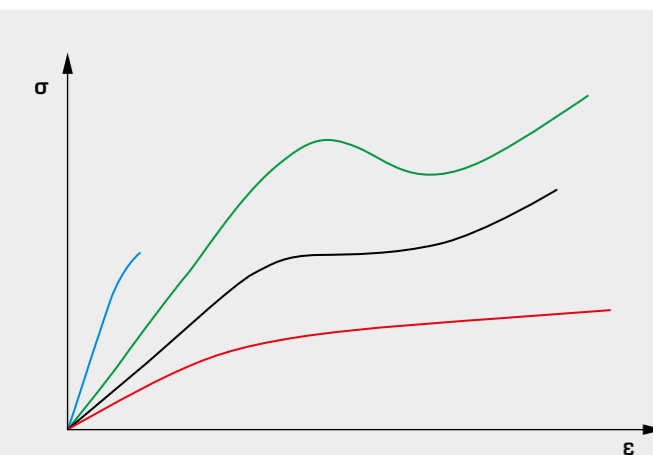


Diagramme contrainte-écrasement

σ contrainte, ε écrasement, s limite d'écrasement à 0,2%, σ_y contrainte de fluage de compression, σ_F résistance à la compression, 1 plage élastique, 2 rupture



Chaque matériau a une courbe caractéristique d'écrasement et de contrainte.

■ plastique cassant, aucune résistance à la compression
■ plastique ductile avec contrainte de fluage de compression
■ plastique ductile sans contrainte de fluage de compression
■ plastique ductile sans rupture

Différentes méthodes de détermination de la dureté

On désigne par le terme de dureté la résistance mécanique qu'un corps oppose à la pénétration d'un autre corps.

Principe de l'essai de dureté Brinell

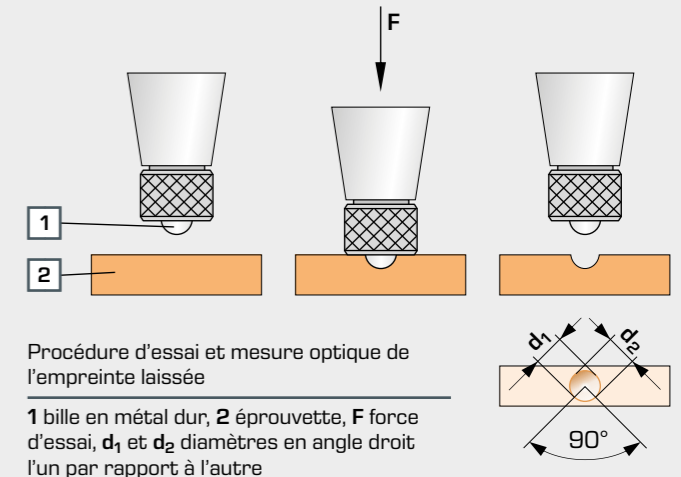
Cette méthode d'essai consiste, dans des conditions définies, à enfoncer un corps d'essai normalisé, une bille en métal dur, à l'intérieur du matériau. La surface de l'empreinte laissée est ensuite mesurée optiquement. Puis la surface de l'empreinte est calculée à partir de son diamètre et du diamètre de la bille. La pénétration du corps d'essai entraîne l'apparition d'un état de contrainte triaxiale dans l'éprouvette.

La dureté Brinell est calculée à partir de la force d'essai et de la surface de l'empreinte de la section sphérique.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} \quad 0,102 = \frac{1}{9,81} = \frac{1}{g}$$

pour la conversion de N en kilogramme-force

HB valeur de dureté Brinell, F force d'essai en N, A_B surface de l'empreinte en mm², g=9,81 accélération de la pesanteur

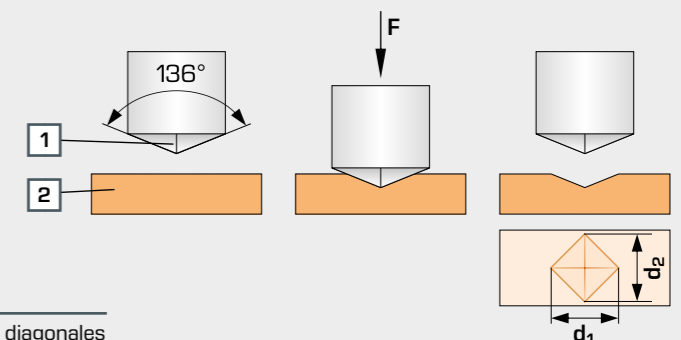


Procédure d'essai et mesure optique de l'empreinte laissée

1 bille en métal dur, 2 éprouvette, F force d'essai, d₁ et d₂ diamètres en angle droit l'un par rapport à l'autre

Principe de l'essai de dureté Vickers

La méthode d'essai est similaire à celle de l'essai de dureté Brinell. Mais à la différence de la méthode Brinell, le corps d'essai utilisé est un diamant de forme pyramidale. La mesure des deux diagonales d₁ et d₂ et le calcul de la moyenne permettent de déterminer la diagonale de l'empreinte. La dureté Vickers est le quotient de la force d'essai par la surface de l'empreinte.

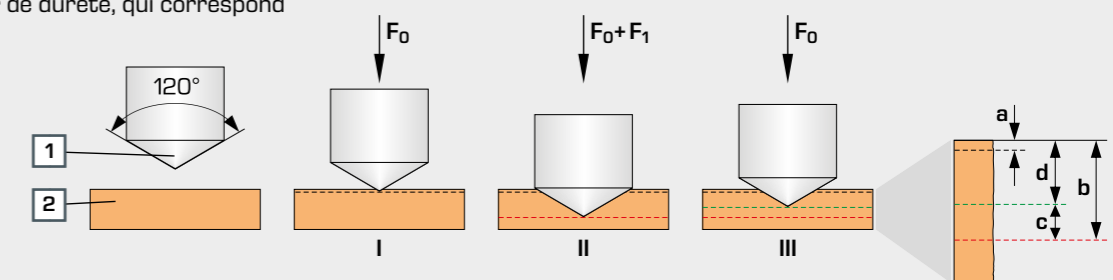


Procédure d'essai et mesure optique de l'empreinte laissée

1 diamant de forme pyramidale, 2 éprouvette, F force d'essai, d₁ et d₂ diagonales

Principe de l'essai de dureté Rockwell

La méthode d'essai de dureté Rockwell permet de lire directement la valeur de dureté, qui correspond au différentiel des profondeurs de pénétration, sur le comparateur à cadran.



Procédure d'essai et mesure de la profondeur de pénétration

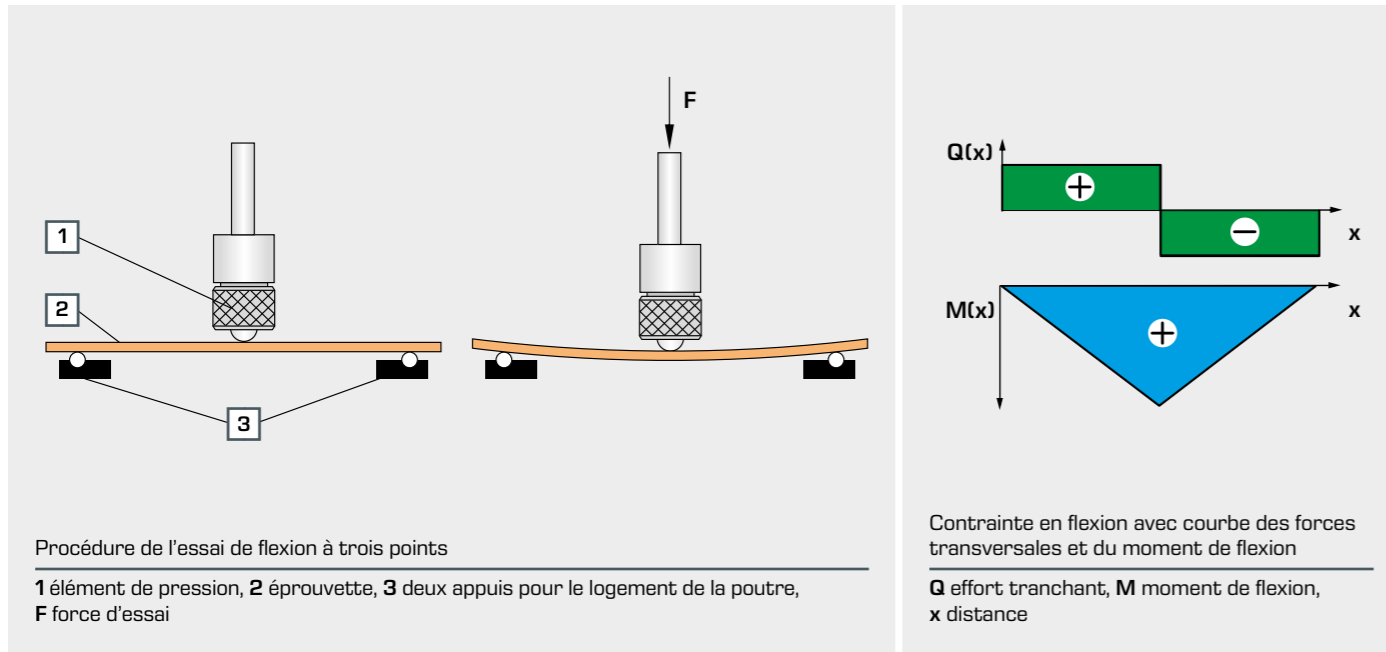
1 diamant en forme de cône, 2 éprouvette, I une pré-force d'essai F₀ est appliquée au corps d'essai, et le comparateur à cadran est mis sur zéro, II la force d'essai supplémentaire F₁ est appliquée pour une durée d'action déterminée, III la force d'essai supplémentaire F₁ est retirée, a profondeur de pénétration due à la force d'essai supplémentaire F₀, b profondeur de pénétration due à la force d'essai supplémentaire F₁, c recouvrement de forme élastique après retrait de la force d'essai supplémentaire F₁, d profondeur de pénétration restante h

Méthodes d'essai mécanique

Essais de flexion pour l'étude du comportement de déformation

Le cas de charge de flexion le plus étudié dans les essais des matériaux est l'essai de flexion à trois points. Il s'agit d'étudier une poutre logée sur deux appuis, et soumise au milieu à une charge unique. L'essai de flexion démontre le rapport qui existe

entre la charge appliquée sur une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique.

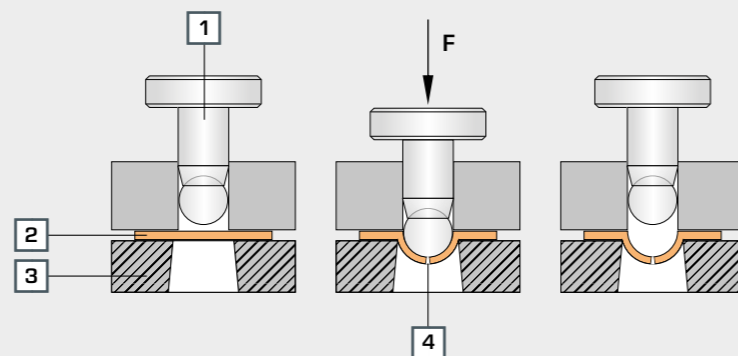


Essai d'emboutissage pour la détermination de la capacité d'emboutissage (capacité de déformation à froid) de tôles et de bandes

L'emboutissage pose des exigences élevées en ce qui concerne la capacité de déformation à froid des tôles et des bandes. Pendant le traitement, il faut éviter toute formation de fissures sur

ces tôles fines. L'essai d'emboutissage sert donc à contrôler la capacité de déformation à froid des tôles.

L'éprouvette d'emboutissage à contrôler est fixée entre un support de tôle et une matrice, puis bosselée (emboutie) au moyen d'un poinçon sphérique durci. La profondeur obtenue sert de référence de mesure de la capacité de déformation à froid. On évalue également la nature de la fissure et la structure de la surface de la zone débosselée.



Essai de cisaillement pour l'étude de la capacité de charge contre le cisaillement

L'essai de cisaillement est utilisé pour le contrôle des vis, rivets, tiges et clavettes, et sert à déterminer la résistance au cisaillement du matériau ou le comportement du matériau en cas de sollicitation de cisaillement. À cet effet, on génère des contraintes de cisaillement dans l'éprouvette, en lui appliquant

des efforts tranchants externes jusqu'à ce qu'elle se cisaille. Il existe deux méthodes pour déterminer la résistance d'un matériau à la sollicitation de cisaillement: la méthode de test à simple section, et la méthode de test à double section.

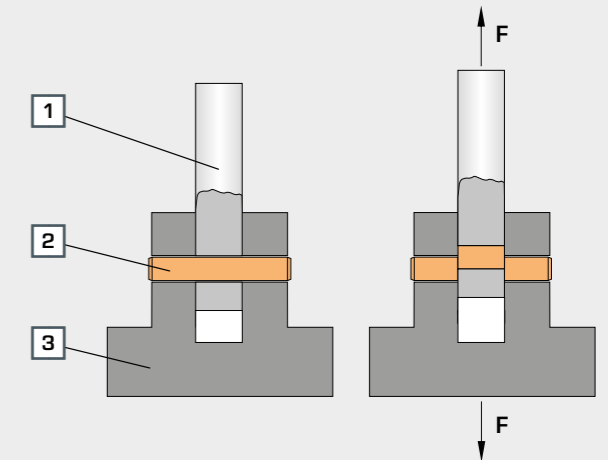
Dans le cas de la méthode à double section, l'éprouvette est cisailée au niveau de deux sections, tandis qu'elle ne se cisaille que sur une section dans le cas de la méthode à simple section. Le calcul de la résistance au cisaillement diffère pour ces deux méthodes en ce qui concerne la surface de section à poser. La résistance au cisaillement déterminée lors de l'essai de cisaillement est importante pour le dimensionnement des vis, rivets et tiges, ainsi que pour le calcul de la force requise pour le cisaillement et le poinçonnage.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

Résistance au cisaillement pour la méthode à double section
 τ résistance au cisaillement,
 F force, A surface de cisaillement

Procédure de l'essai de cisaillement à double section

1 tirant de traction, 2 éprouvette, 3 boîtier, F force d'essai



Essai de torsion pour l'étude du comportement plastique des matériaux

Les composants soumis à des mouvements rotatifs sont sollicités en rotation. Cette rotation est également appelée torsion. La résistance de torsion déterminée par l'essai de torsion sert d'orientation pour connaître la sollicitation admissible du

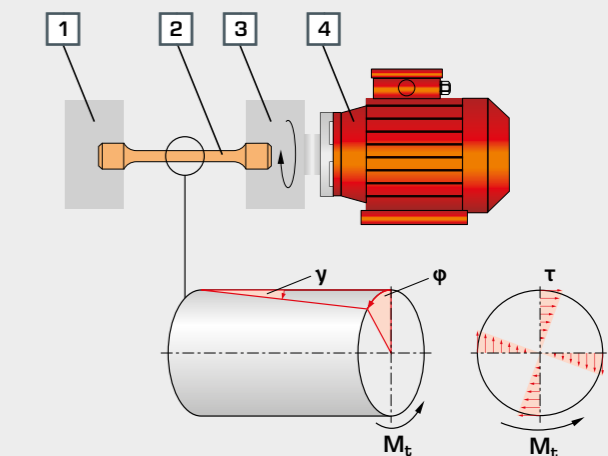
matériau. Cette méthode est utilisée pour les arbres, axes, fils métalliques et ressorts, ainsi que pour évaluer le comportement de ténacité des aciers à outils.

Lors de l'essai de torsion, une éprouvette est fermement fixée à une extrémité, et soumise à l'autre extrémité à un couple en croissance constante, le moment de torsion. Le moment de torsion provoque des contraintes de cisaillement dans la section de l'éprouvette; un état de contrainte s'installe, entraînant une déformation, puis une rupture.



Procédure de l'essai de torsion

1 serrage fixe, 2 éprouvette, 3 serrage rotatif, 4 entraînement;
 M_t moment de torsion, γ angle de cisaillement, ϕ angle de torsion,
 τ contrainte de cisaillement



Méthodes d'essai mécanique

Essai de résilience pour la détermination de la propriété de ténacité

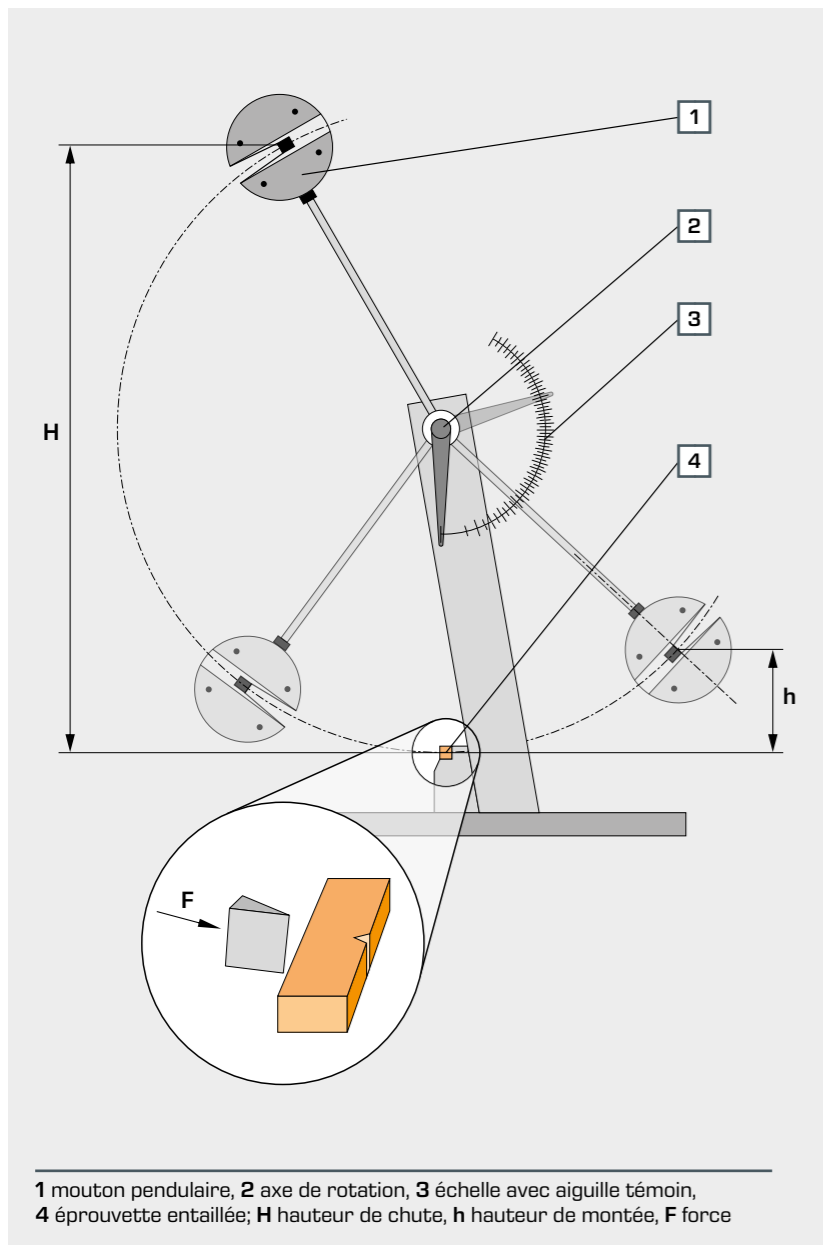
L'essai de résilience est une méthode avec sollicitation brutale, essentiellement adaptée à la détermination de la tendance à la rupture de fragilité ou de la propriété de ténacité d'un matériau. La méthode d'essai ne fournit pas de valeurs caractéristiques du matériau. Les valeurs de résilience déterminées au cours de l'essai de résilience ne sont pas directement utilisées pour calculer la résistance; elles aident uniquement à choisir des matériaux pour des applications spécifiques.

Le comportement de déformation est souvent un critère important de sélection des matériaux. Il permet de déterminer rapidement lesquels parmi les matériaux sélectionnés sont cassants

ou solides. La fragilité d'un matériau ne dépend pas seulement de lui, elle est également influencée par des données extérieures telles que la température ou l'état de contrainte.

Différentes méthodes d'essai sont utilisées pour déterminer la résilience. Pour l'essai Charpy, le corps d'essai est maintenu sur deux côtés, et le pendule entre en contact avec le corps d'essai au milieu, à la hauteur de l'entaille. Pour les méthodes d'essai Izod et Dynstat, le corps d'essai est à la verticale, et le pendule entre en contact avec l'extrémité libre du corps d'essai, au-dessus de l'entaille.

Principe de l'essai de résilience Charpy



Lors de l'essai de résilience, un mouton pendulaire tombe d'une hauteur maximum. Au point le plus bas, selon le principe de Charpy, le mouton entre en contact avec la face arrière d'une éprouvette entaillée. Lorsque les butées transpercent ou passent par l'éprouvette, le mouton transmet son énergie d'impact à l'éprouvette. L'énergie résiduelle du mouton diminue à chaque passage oscillant par le point le plus bas (point zéro), freinant ainsi le mouton. Lorsque le mouton passe en oscillant par le point le plus bas, l'aiguille témoin est entraînée, et le travail délivré pour le choc est indiqué sur une échelle.

La forme des éprouvettes de choc est normalisée.

L'énergie de choc requise est la force nécessaire pour transpercer une éprouvette entaillée définie. La résilience déterminée à partir de l'énergie de choc donne une mesure de la fragilité du matériau.

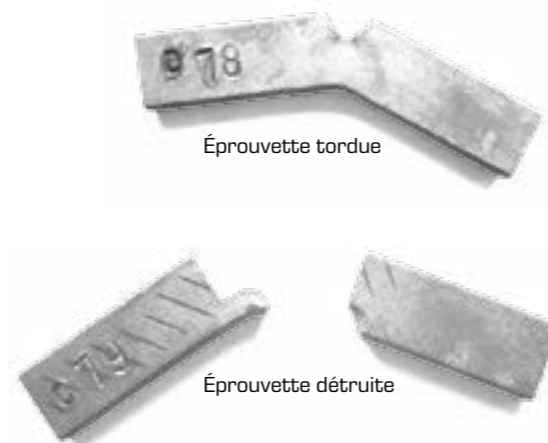
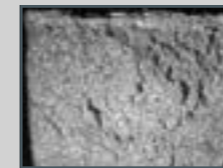
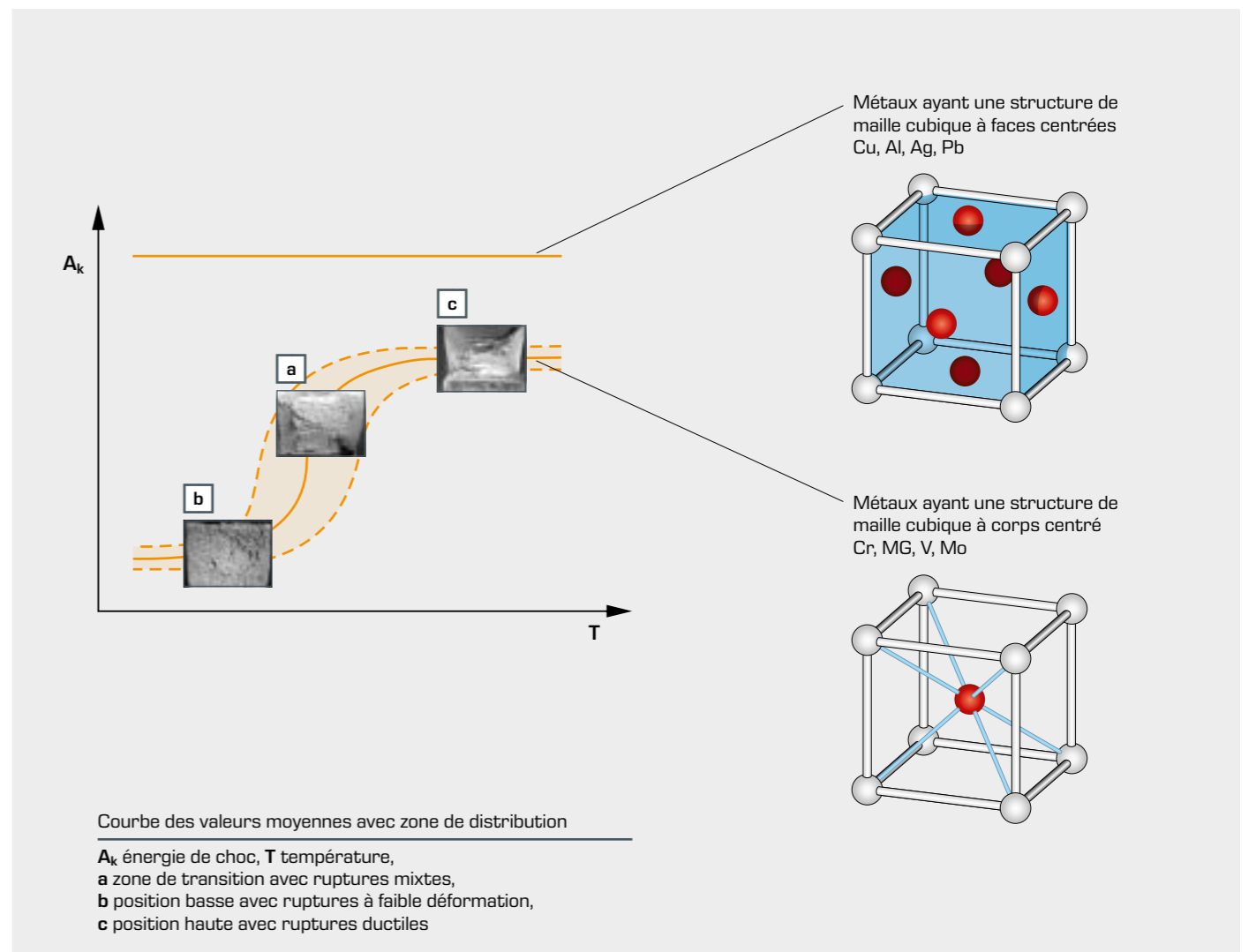


Diagramme énergie de choc-température



Rupture à faible déformation (matériaux cassants)

- la séparation du matériau se fait par le biais de contraintes normales sur des plans de clivage
- rupture transcristalline
- surface de rupture brillante, pratiquement sans déformation



Rupture mixte

- rupture de déformation à l'extérieur (rupture ductile microscopique), rupture à faible déformation à l'intérieur (rupture par clivage microscopique)



Rupture ductile (matériaux tenaces)

- déformation ductile, rupture par les grains
- structure de rupture mate très déformée

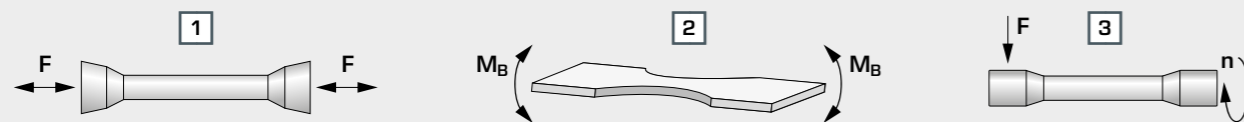
Méthodes d'essai mécanique

Fatigue du matériau

Essai de résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue définit la limite de charge jusqu'à laquelle un matériau soumis à une charge de manière dynamique résiste sans se rompre. Ce sont avant tout les pièces de machine en mouvement qui sont soumises à des charges dyna-

miques provoquées par exemple par des vibrations. Lorsque le nombre d'alternances de charge est élevé, la rupture se produit alors à des contraintes bien inférieures à la limite d'élasticité et à la contrainte de rupture.

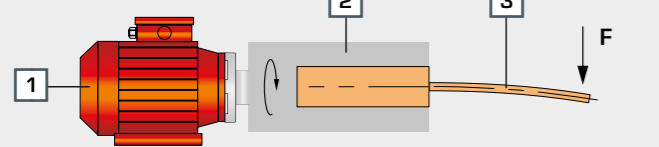


Éprouvettes soumises à des charges différentes

1 éprouvette avec sollicitation en traction-compression, 2 éprouvette avec sollicitation par flexion alternée, 3 éprouvette avec sollicitation par flexion rotative; F force, M_B moment de flexion, n vitesse de rotation

Principe de l'essai de résistance à la fatigue, avec sollicitation sur flexion rotative

Lors de l'essai de résistance à la fatigue, une éprouvette en rotation fixée sur un côté est soumise à un moment de flexion. Ce qui produit dans l'éprouvette cylindrique une sollicitation alternée par flexion rotative. Après un certain nombre de cycles de charge, l'éprouvette se rompt suite à la fatigue du matériau.



1 entraînement, 2 serrage fixe, 3 éprouvette rotative

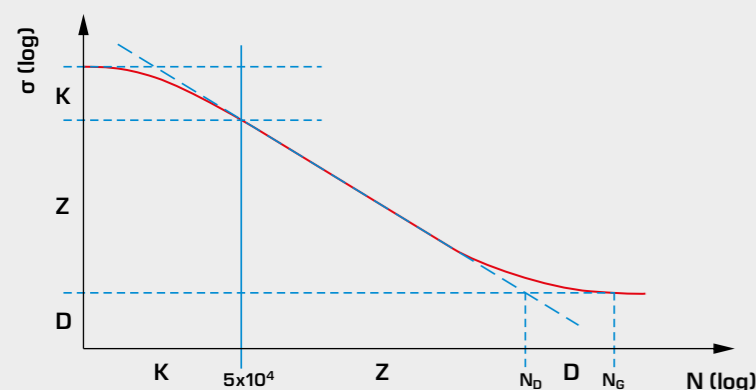


Évaluation de la surface de rupture après l'essai de résistance à la fatigue

1 à 3 rupture par fatigue, 4 rupture par la force résiduelle

Diagramme de Wöhler pour l'évaluation de l'essai

Le diagramme de Wöhler représente graphiquement le rapport existant entre l'alternance de charge jusqu'à la rupture et la sollicitation en contrainte correspondante.



N alternances de charge, σ sollicitation en contrainte, K résistance de courte durée, Z résistance dans le temps, D résistance à la fatigue, N_D nombre d'alternances de charge à partir de la résistance dans le temps, N_G nombre d'alternances de charge

Le diagramme de Wöhler comporte trois zones:

Résistance de courte durée: dépasse une limite de charge à laquelle l'éprouvette est en principe détériorée

Résistance dans le temps: le nombre d'alternances de charges avant rupture de l'éprouvette est en constante diminution avec l'augmentation de la charge

Résistance à la fatigue: contrainte max. à laquelle résiste une éprouvette infiniment et sans déformation inadmissible, du moins avant d'avoir atteint le nombre d'alternances de charge N_G

Durée de vie: nombre N d'alternances de charge jusqu'à la rupture avec une charge définie

Essai de fluage pour l'étude des processus de fluage

À charge égale, des matériaux soumis à des charges statiques sur la durée se comportent différemment selon que la température est élevée ou de local. À température élevée, une déformation plastique lente et irréversible, également appelée fluage, apparaît au bout d'un certain temps, avec des

contraintes encore inférieures à la limite élastique à chaud, et sans augmentation de la charge. Lorsque cette charge est maintenue inchangée pendant une certaine durée, cela entraîne la rupture de l'éprouvette.

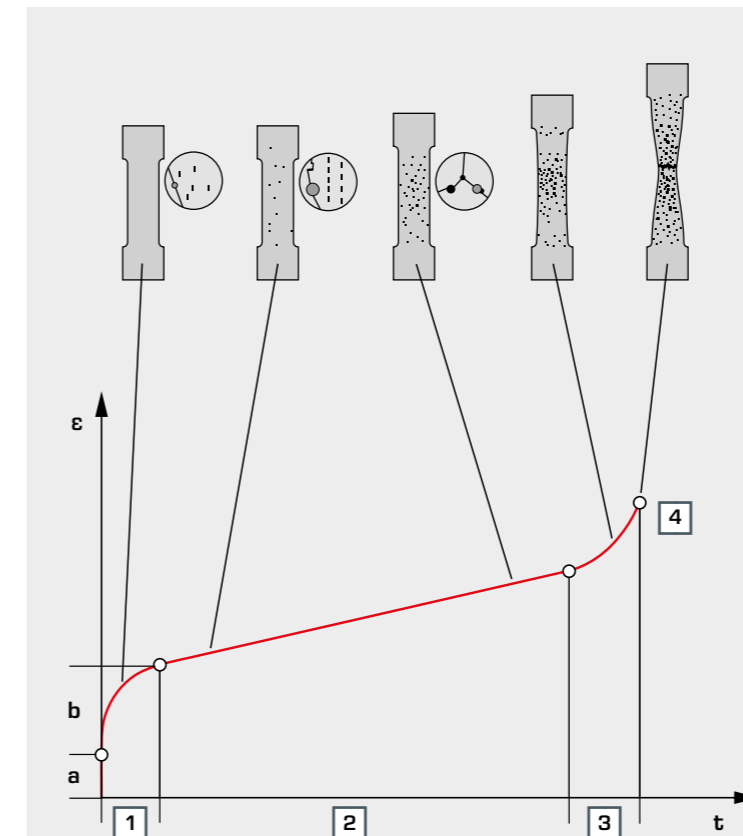
Principe de l'essai de fluage

Lors de l'essai de fluage, une éprouvette est soumise à une charge à contrainte constante et température constante. Cet essai est répété plusieurs fois avec des contraintes différentes, mais toujours à la même température. Les déformations plastiques sont mesurées à des intervalles de temps continus. Toutes les valeurs de mesure peuvent ensuite être reportées

dans un diagramme de fluage. La déformation mesurée présente une courbe caractéristique appelée courbe de fluage. Lors de l'essai de fluage, on détermine les valeurs caractéristiques de la résistance au fluage, ainsi que les différentes quantités de déformation.

Courbe déformation-temps

Lorsque l'on reporte sur un graphique la déformation en fonction du temps, on obtient ce que l'on appelle la courbe déformation-temps.



Résistance au fluage (limite de rupture dans le temps / limite de déformation dans le temps): contraintes mécaniques entraînant des déformations durables ou une rupture

Types de déformation: déformation de fluage, déformation permanente, déformation primaire plastique, recouvrement de forme inélastique

Sur la courbe déformation-temps, on distingue trois phases dans les zones techniques de fluage:

Phase 1, fluage primaire avec réduction de la vitesse de fluage très importante au début. Ici, l'influence de la perte de résistance mécanique du matériau prévaut (fluage rapide).

Phase 2, fluage secondaire avec vitesse de fluage pratiquement constante. La montée des dislocations au passage d'obstacles de fluage se trouve en équilibre stationnaire.

Phase 3, fluage tertiaire avec vitesse de fluage à nouveau croissante jusqu'à la rupture, suite à une striction à rupture croissante et à l'augmentation des contraintes réelles. Pour les ruptures à faible déformation, la phase 3 peut être très courte.

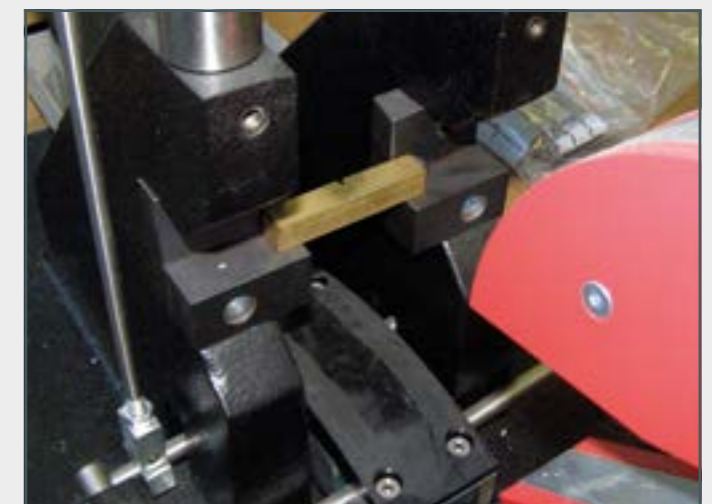
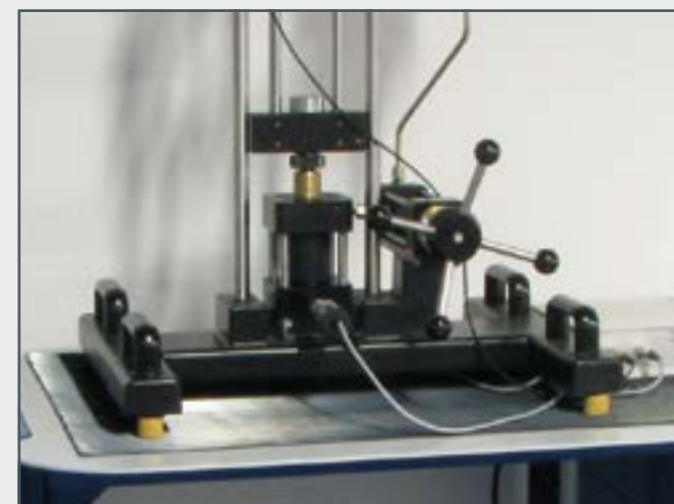
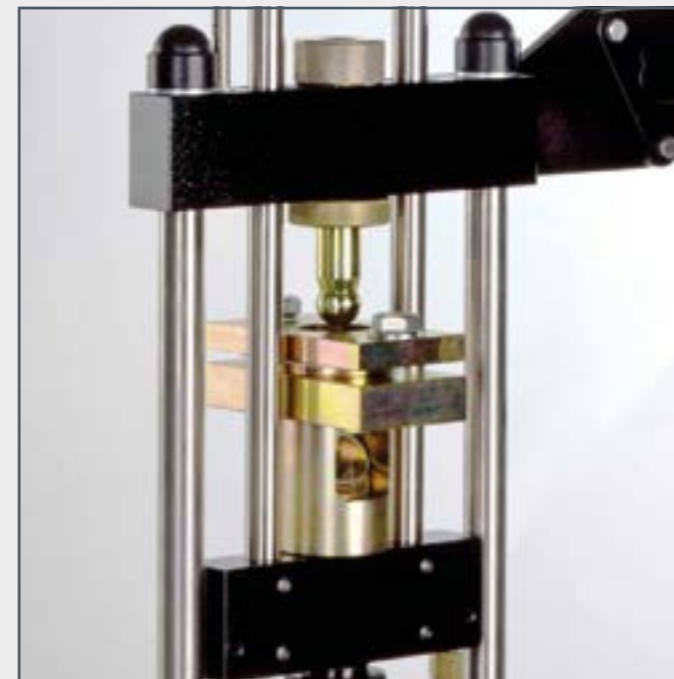
Modification de l'éprouvette au cours de l'essai

t temps, ϵ déformation, 1 fluage primaire, 2 fluage secondaire, 3 fluage tertiaire, 4 rupture de l'éprouvette, a déformation élastique, b déformation plastique

Cours: principes de base de l'essai des matériaux

Série WP:

Un cours complet
sur les principes de base
de l'essai des matériaux



Cours: principes de base de l'essai des matériaux

À l'aide des appareils d'essai, les étudiants ou apprentis apprennent à évaluer des matériaux en se familiarisant avec différentes méthodes d'essai servant à déterminer les propriétés des matériaux, et servant à évaluer et classer des matériaux "inconnus".

Le cours complet inclut notamment les thématiques suivantes:

- déformation élastique et plastique
- résistance à la traction, contrainte, déformation, diagramme force-allongement, diagramme contrainte-déformation
- allongement de rupture, striction à rupture, comportement de rupture
- essai de dureté Brinell
- essai de compression, résistance à la compression, contrainte de fluage de compression, diagramme contrainte-écrasement
- essai de flexion
- essai d'emboutissage, capacité de déformation à froid
- essai de cisaillement, résistance au cisaillement
- essai de torsion, torsion, contraintes de cisaillement, résistance de torsion, comportement de ténacité
- essai de résilience Charpy, propriété de ténacité, diagramme énergie de choc-température
- essai de résistance à la fatigue, diagramme de Wöhler, évaluation de la surface de rupture
- essai de fluage, processus de fluage, diagramme déformation-temps (courbe déformation-temps)



L'appareil d'essai compact WP 300
génère une force d'essai de 20 kN

- essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux
- observation de toutes les particularités et phases de l'essai
- représentation claire des rapports entre augmentation des forces et modification des différents matériaux
- utilisation mobile grâce à un type de construction compact et léger
- préparation, représentation et sauvegarde de données avec le système d'acquisition de données WP 300.20



L'appareil d'essai compact WP 500
génère des moments d'essai de 30 Nm

- génération du moment de torsion par un engrenage à vis sans fin
- mesure du moment de torsion avec un couplemètre et codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion
- logiciel GUNT d'évaluation des valeurs de mesure compris dans la liste de livraison



Le banc d'essai WP 310
génère une force d'essai de 50 kN

- essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux, avec résultats de mesure basés sur les standards industriels
- banc d'essai pour essais basés sur les standards industriels
- signal acoustique de surcharge pour les forces d'essai
- logiciel GUNT d'évaluation de données de l'essai compris dans la liste de livraison



L'appareil d'essai WP 510
génère des moments d'essai de 200 Nm

- essai de torsion basé sur les standards industriels avec réalisation de l'essai assistée par moteur
- différentes vitesses de rotation, marche à droite et à gauche
- technique de mesure assistée par microprocesseur
- logiciel GUNT d'évaluation de données de l'essai compris dans la liste de livraison



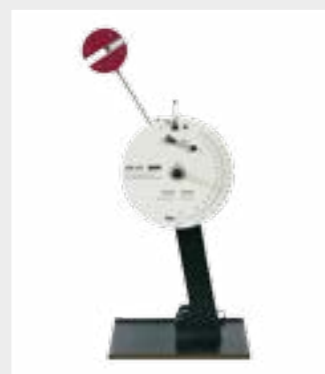
L'appareil d'essai compact WP 400
génère une capacité de travail de 25 Nm

- essai de résilience Charpy pour le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture des matériaux métalliques
- mouton pendule basé sur la DIN EN ISO 148-1
- divers dispositifs de sécurité pour la réalisation sans danger des essais, et couvercle de protection disponible en option pour l'espace de travail WP 400.50
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 400.20



L'appareil d'essai compact WP 140
permet de réaliser des essais de résistance à la fatigue

- résistance à la fatigue de barres soumises à une contrainte en flexions alternées
- compteur numérique pour l'affichage des alternances de charge
- arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 140.20



Le banc d'essai WP 410
génère une capacité de travail de 300 Nm

- essai de résilience Charpy avec capacité de travail augmentée
- mouton pendule basé sur les standards industriels / la DIN EN ISO 148-1
- réalisation sans danger des essais par l'activation à deux mains du mouton, et une cage de protection disponible en option pour mouton pendule WP 410.50
- préparation, représentation et sauvegarde avec le système d'acquisition de données WP 410.20



L'appareil d'essai compact WP 600
permet de réaliser des essais de fluage

- essais de fluage simples avec des éprouvettes en plomb et en plastique
- essais réalisables à température de local
- des éléments de refroidissement permettent la réalisation d'essais en dessous de la température de local
- durée de l'essai: entre quelques minutes et une heure

Cours: principes de base de l'essai des matériaux

Accessoires pour différents essais des matériaux

WP 300, force d'essai de 20 kN

Essais de traction

WP 300.02 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.21 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Al

WP 300.22 Éprouvettes de traction, jeu de 4, Cu

WP 300.23 Éprouvettes de traction, jeu de 4, St

WP 300.24 Éprouvettes de traction, jeu de 4, CuZn

WP 300.14 Dispositif de serrage pour éprouvettes de traction plates

WP 300.25 Éprouvettes de traction plates, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

Essais de compression

WP 300.05 Grandes plaques de compression pour essais de compression

WP 300.70 Éprouvettes de compression, jeu de 4, plâtre

WP 300.71 Éprouvettes de compression, jeu de 4, bois

WP 300.72 Éprouvettes de compression, jeu de 4, plastique

Essai de dureté Brinell

WP 300.03 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.31 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al

WP 300.32 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Cu

WP 300.33 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, St

WP 300.34 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, CuZn

WP 300.12 Loupe de mesure pour l'essai de dureté Brinell

Essais de flexion

WP 300.04 Dispositif pour essais de flexion

Essais d'emboutissage

WP 300.11 Dispositif pour essais d'emboutissage

WP 300.41 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Al

WP 300.42 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Cu

WP 300.43 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, St

WP 300.44 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, CuZn

Essais de cisaillement

WP 300.10 Dispositif pour essais de cisaillement

WP 300.13 Dispositif de cisaillement à simple section

WP 300.52 Éprouvettes de cisaillement, jeu de 5, Cu

Tests de ressort

WP 300.06 Montage expérimental pour test de ressort, ressort hélicoïdal, 2 jeux

WP 300.07 Montage expérimental pour test de ressort, ressort à disques

WP 310, force d'essai de 50 kN

Essais de traction

WP 310.05 Mâchoires à coins pour éprouvettes de traction rondes et plates

WP 310.12 Éprouvettes de traction F10x50 DIN 50125, jeu de 10, St (S235JRC+C)

WP 310.06 Mâchoires à vis pour éprouvettes de traction à extrémités filetées

WP 310.11 Éprouvettes de traction B10x50 DIN 50125 M16, jeu de 10, St (S235JRC+C)

WP 310.07 Support pour éprouvettes de traction en forme d'haltères

WP 310.13 Éprouvettes de traction en forme d'haltères, jeu de 10, St (S235JRC+C)

Essais de compression

WP 310.04 Plaques de compression pour essais de compression

WP 310.15 Éprouvettes de compression, jeu de 5, 4x en plastique, 1x en bois

Essai de dureté Brinell

WP 310.01 Montage expérimental pour l'essai de dureté Brinell

WP 300.03 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al, Cu, St, CuZn

WP 300.31 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Al

WP 300.32 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, Cu

WP 300.33 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, St

WP 300.34 Éprouvettes de dureté, jeu de 4, CuZn

WP 300.12 Loupe de mesure pour l'essai de dureté Brinell

Essais de flexion

WP 310.03 Dispositif pour essais de flexion

WP 310.84 Éprouvettes de flexion, jeu de 25, fonte

Essais d'emboutissage

WP 310.10 Dispositif pour essais d'emboutissage

WP 300.41 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Al

WP 300.42 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, Cu

WP 300.43 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, St

WP 300.44 Éprouvettes d'emboutissage, jeu de 5, CuZn

Essais de cisaillement

WP 310.02 Dispositif pour essais de cisaillement

WP 300.52 Éprouvettes de cisaillement, jeu de 5, Cu

Tests de ressort

WP 310.08 Montage expérimental pour test de ressort, ressort hélicoïdal

WP 310.09 Montage expérimental pour test de ressort, ressort à disques

WP 400, force d'essai de 25 Nm

Essai de résilience

WP 400.01 Éprouvettes en V ISO, 10x5, jeu de 10, acier de construction (S235JRC+C)

WP 400.02 Éprouvettes en V ISO, 10x5, jeu de 10, CuZn

WP 400.03 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, CuZn

WP 400.04 Éprouvettes en U ISO, 10x5, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.05 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.06 Éprouvettes R5 GUNT, jeu de 10, acier de décolletage (9SMn28)

WP 400.07 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de traitement (C45k)

WP 400.08 Éprouvettes R7 GUNT, jeu de 10, acier de traitement (S235JRC+C)

WP 400.09 Éprouvettes en V GUNT, jeu de 10, acier de construction (S235JRC+C)

WP 400.50 Revêtement de protection pour mouton pendule

WP 500, force d'essai de 30 Nm

Essai de torsion

WP 500.01 Éprouvettes de torsion, jeu de 6, St, Al, CuZn

Fatigue du matériau avec WP 140

Essai de résistance à la fatigue

WP 140.01 Éprouvettes, différents congés, jeu de 3, St

WP 410, force d'essai de 300 Nm

Essai de résilience

WP 410.01 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, St 37k

WP 410.02 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, Cu

WP 410.03 Éprouvettes en V ISO, 10x10, jeu de 10, CuZn

WP 410.50 Revêtement de protection pour mouton pendule

WP 510, force d'essai de 200 Nm

Essai de torsion

WP 510.01 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, St

WP 510.02 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, CuZn

WP 510.03 Éprouvettes de torsion, jeu de 5, Al

Fatigue du matériau avec WP 600

Essai de fluage

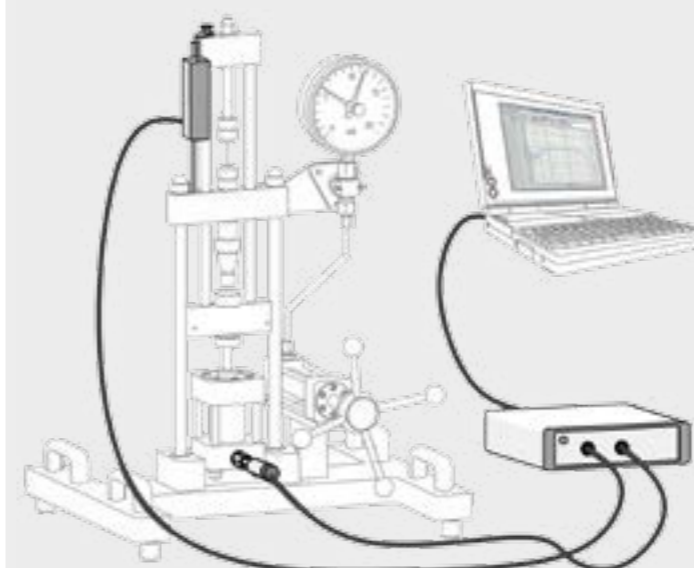
WP 600.01 Éprouvettes, jeu de 10, plastique PE

WP 600.02 Éprouvettes, jeu de 10, Pb

Accessoires

WP 300.09 Chariot de laboratoire

Systèmes d'acquisition de données



Logiciel GUNT

- prend en charge différents essais des matériaux
- enregistrement de diagrammes typiques d'essais, p.ex. diagrammes contrainte-déformation, diagrammes énergie de choc-température
- protocoles d'essai complets conformes à la DIN (essai de traction et essai de compression)
- préparation, représentation et sauvegarde de données
- pour WP 140, WP 300, WP 400, WP 410: disponibles en option
- pour WP 310, WP 500, WP 510: compris dans la liste de livraison

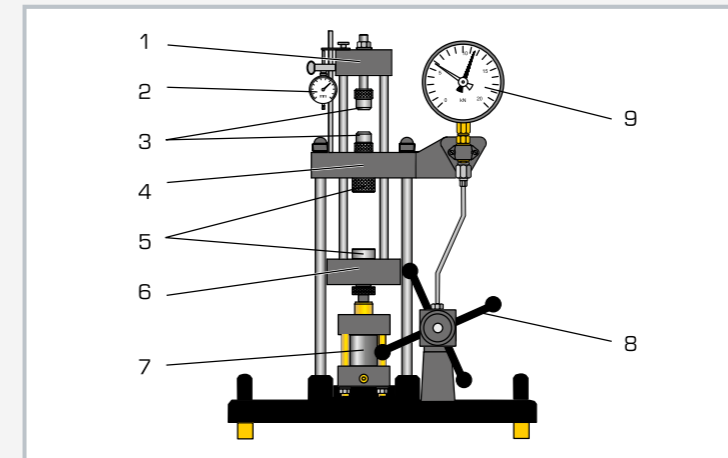
WP 300

Essai des matériaux, 20kN



Contenu didactique/essais

- essais de traction
- enregistrement des diagrammes contrainte-déformation
- essai de dureté Brinell
- avec les accessoires
 - ▶ essais de compression
 - ▶ essais de flexion
 - ▶ essais d'emboutissage
 - ▶ essais de cisaillement
 - ▶ test de ressorts à disques et de ressorts hélicoïdaux



1 traverse supérieure, 2 comparateur à cadran pour l'élongation, 3 dispositif de serrage pour éprouvettes de traction, 4 traverse fixe, 5 élément de pression et plaque de compression, 6 traverse inférieure, 7 vérin hydraulique, 8 roue à main, 9 dynamomètre à cadran

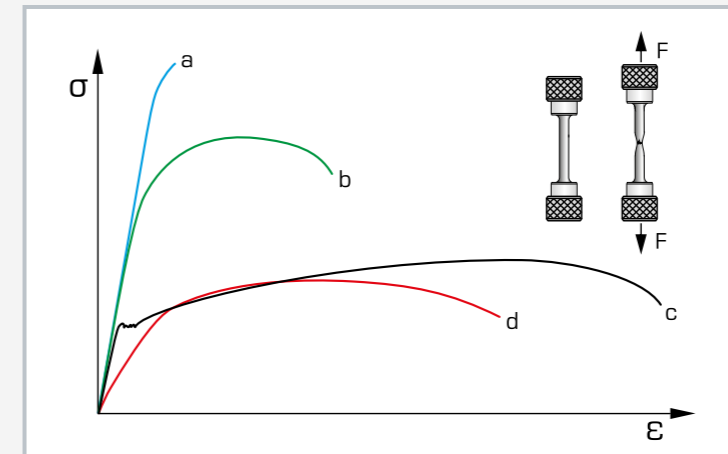
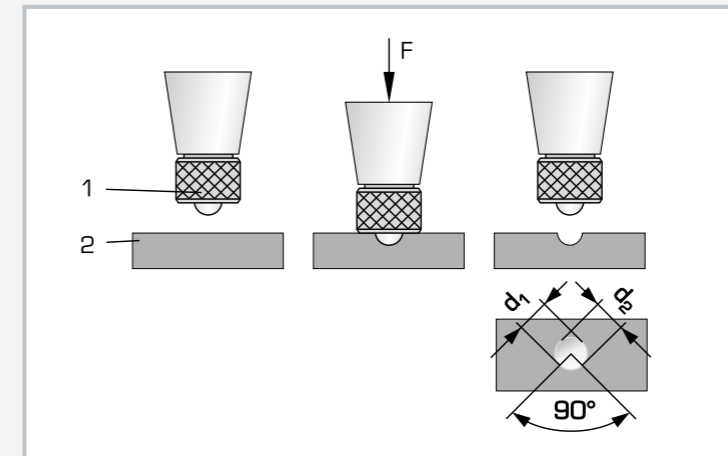


Diagramme contrainte-déformation pour différents matériaux: a acier trempé, b acier trempé et revenu, c acier recuit, d alliage d'aluminium



Essai de dureté Brinell: 1 bille en acier trempé, 2 éprouvette; F force d'essai, d_1 et d_2 dimensions de la surface de l'empreinte

Spécification

- [1] essais classiques du domaine des essais destructifs des matériaux
- [2] essais de traction, essais de dureté Brinell
- [3] nombreux accessoires disponibles pour essais complémentaires
- [4] génération de forces de traction et de compression
- [5] génération de forces par un système hydraulique à commande manuelle, aucune alimentation électrique requise
- [6] dynamomètre à cadran, instrument à aiguille entraînée
- [7] comparateur à cadran pour la détermination de l'allongement
- [8] matériaux des éprouvettes de dureté: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [9] éprouvettes de traction conformes à la DIN 50125: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [10] système d'acquisition de données (WP 300.20) disponible en option

Caractéristiques techniques

Force d'essai: 20kN max.
Course: max. 45mm
Espace de montage libre pour les éprouvettes: 165x65mm
Éprouvettes de traction: B6x30mm, DIN 50125
Éprouvettes de dureté: Lxlxh 30x30x10mm
Bille pour l'essai de dureté: diamètre $\varnothing=10$ mm

Plages de mesure

- force: 0...20kN, graduation: 0,5kN
- déplacement: 0...20mm, graduation: 0,01mm

Lxlxh: 610x500x860mm

Poids: env. 48kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 dispositif pour essai de dureté
- 1 dynamomètre à cadran
- 1 comparateur à cadran pour l'allongement
- 4 jeux d'éprouvettes de traction
- 4 jeux d'éprouvettes de dureté
- 1 documentation didactique

Description

- **appareil d'essai compact très complet pour essais destructifs de base**
- **essais de traction, essai de dureté Brinell**

Dans les métiers techniques et scientifiques, bien comprendre les propriétés des matériaux est essentiel. Ces connaissances aident à sélectionner les bons matériaux, à surveiller le processus de fabrication et de traitement, et à garantir les exigences posées pour un composant. L'essai des matériaux met à disposition les données requises, qui sont à la fois reproductibles et quantifiées avec exactitude. L'essai de traction, l'essai de flexion et l'essai de dureté comptent parmi les essais classiques des matériaux.

L'appareil de base du WP 300 permet d'effectuer des essais de traction ainsi que des essais de dureté Brinell.

Les accessoires proposés permettent de réaliser en outre des essais de compression, de flexion, de cisaillement et d'emboutissage. Il est également possible de tester des ressorts à disques et des ressorts hélicoïdaux. L'appareil d'essai a été spécialement développé pour les essais en petits groupes, et se distingue par sa conception claire, son utilisation simple et le remplacement rapide des accessoires. Les éprouvettes de traction sont serrées entre la traverse supérieure et la traverse fixe.

Les éprouvettes de dureté sont fixées entre la traverse fixe et la traverse inférieure. La force d'essai est produite par un système hydraulique à commande manuelle, et affichée sur un dynamomètre à cadran avec aiguille entraînée. L'allongement des éprouvettes est enregistré via la mesure du déplacement à l'aide d'un comparateur à cadran mécanique.

L'appareil d'essai peut être, en outre, équipé d'un instrument électronique de mesure du déplacement et de la force. Avec le système d'acquisition de données WP 300.20, on peut transférer les valeurs de mesure du déplacement et de la force sur un PC où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel.

WP 310

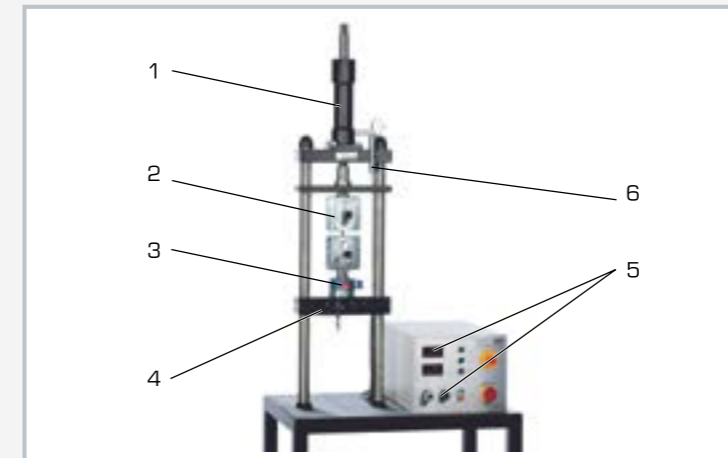
Essai des matériaux, 50kN



L'illustration montre le WP 310 avec l'accessoire WP 310.05.

Contenu didactique/essais

- avec les accessoires
 - ▶ essai de traction
 - ▶ essai de compression
 - ▶ essai de dureté Brinell
 - ▶ essai de flexion
 - ▶ essai de cisaillement
 - ▶ essai d'emboutissage
 - ▶ test de ressort



1 cylindre hydraulique pour la génération de forces de traction et de compression, 2 zone de travail avec l'accessoire WP 310.05, 3 capteur de force, 4 traverse inférieure réglable en hauteur avec verrouillage, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 capteur de déplacement

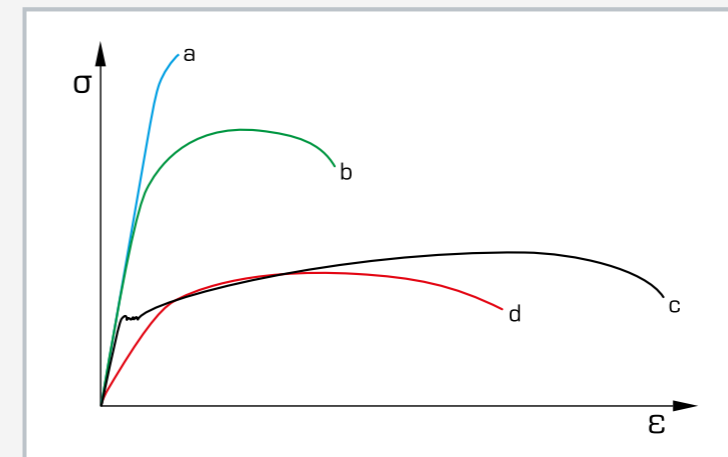


Diagramme contrainte-déformation pour différents matériaux: a acier trempé, b acier trempé et revenu, c acier recuit, d alliage d'aluminium



Capture d'écran du logiciel: essai de dureté Brinell

Spécification

- [1] banc d'essai à entraînement hydraulique pour essais des matériaux
- [2] génération de forces de traction et de compression
- [3] force d'essai et vitesse de déplacement ajustables
- [4] génération de la force d'essai par une pompe à engrenages et un cylindre hydraulique à double action
- [5] mesure des forces au moyen d'un pont de jauges de contrainte avec signal acoustique de surcharge, surcharge max. 150%
- [6] mesure du déplacement au moyen d'un potentiomètre linéaire
- [7] affichages LED pour la force et le déplacement avec enregistrement de tarage et de la valeur maximum
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8, 1, 10
- [9] nombreux accessoires disponibles

Caractéristiques techniques

Zone de travail, Lxh: 300x925mm

Génération hydraulique de la force d'essai

- force d'essai: 0...50kN
- pression max. du système: 175bar
- course de piston max.: 150mm
- vitesse de déplacement: 0...425mm/min
- pompe à engrenages
 - ▶ débit de refoulement max.: 1cm³/tour
 - ▶ puissance absorbée: 0,55kW

Plages de mesure

- force: 0...50kN
- déplacement: 0...150mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1080x830x2300mm

Poids: env. 330kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Description

- **banc d'essai à entraînement hydraulique basé sur les standards industriels**
- **génération directe de forces de traction et de compression**
- **nombreux accessoires pour la réalisation d'essais destructifs des matériaux**

Une discipline classique de l'essai des matériaux est la méthode d'essai destructive. Elle consiste à tester mécaniquement des éprouvettes jusqu'à ce qu'elles se cassent. L'essai des matériaux met à disposition des données de dureté, de rigidité et de résistance, qui sont reproductibles et quantifiées avec exactitude.

Le WP 310 et ses accessoires permettent la réalisation d'essais destructifs des matériaux.

Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. L'appareil est suffisamment performant pour pouvoir réaliser des essais basés sur les standards industriels. Des données techniques des matériaux et des lois fondamentales peuvent être vérifiées à l'aide de valeurs de mesure que l'on a déterminées soi-même.

Le banc d'essai vertical à entraînement hydraulique à génération de forces directe peut générer aussi bien des forces de traction que des forces de compression. La traverse inférieure peut être déplacée par paliers pour l'ajustage grossier de la hauteur. Des logements cylindriques se trouvant sur les traverses permettent de changer facilement les accessoires.

Les nombreux accessoires permettent la réalisation d'essais de traction, de compression, de dureté Brinell, de flexion, de cisaillement et d'emboutissage. Il est également possible de tester des ressorts à disques et des ressorts hélicoïdaux.

La force d'essai et l'allongement des éprouvettes sont mesurés par des capteurs, puis affichés. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni.

SE 100

Bâti pour essais de charge, 400kN



L'illustration montre le SE 100 avec différents accessoires

Description

- **essais de charge sur des composants en acier issus de la construction métallique et du génie civil**
- **conçu spécialement pour les composants de grande taille à l'échelle 1:1**
- **grande diversité d'applications grâce à de nombreux accessoires**

Les exigences posées par les constructions modernes de grande technicité nécessitent une compréhension approfondie des phénomènes de résistance et de déformation des composants. Les essais de charge permettent de reproduire différents états de charge, et d'enregistrer et d'évaluer la réaction à la sollicitation. Cela permet de démontrer de manière expérimentale la force portante de la construction. Le bâti pour essais de charge SE 100 a été conçu spécialement pour les essais dans les domaines de la construction métallique et du génie civil. Les composants étudiés sont de grande taille, à l'échelle 1:1.

Le bâti est livré démonté sous la forme de modules préfabriqués à assembler sur place. De cette manière, les pièces passent par les ouvertures de portes de taille standard. Le bâti est installé sur quatre pieds ajustables, qui amortissent les vibrations. La zone de travail de

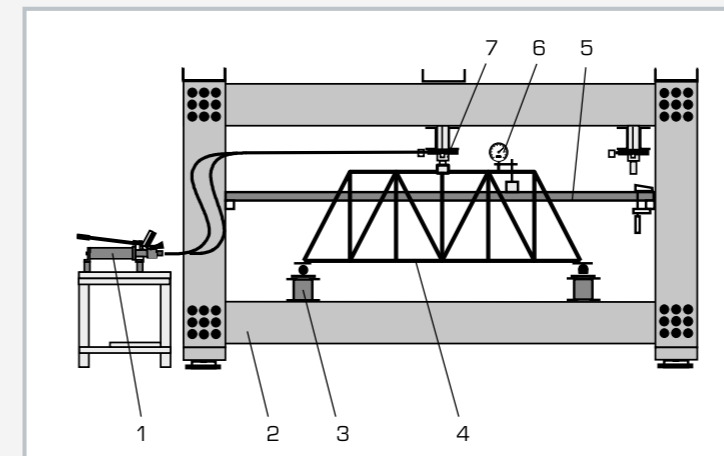
grande taille a la forme d'un bâti double, ce qui permet d'étudier également des composants de grande longueur. La construction du bâti permet de réaliser rapidement et facilement les montages expérimentaux. En association avec les accessoires et le dispositif de charge, les possibilités d'utilisation sont multiples.

Accessoire disponible en option, le dispositif de charge à entraînement hydraulique SE 100.12 comprend un cylindre hydraulique à double action et une pompe à commande manuelle montée sur une table. Le dispositif de charge est monté sur des roulettes, et peut être positionné où on le souhaite sur la traverse supérieure. Selon le montage expérimental, il est également possible d'utiliser deux dispositifs de charge (SE 100.02) et donc de générer plusieurs forces. Le fléchissement est affiché à l'aide de comparateurs à cadran, disponibles en tant qu'accessoires (SE 100.03).

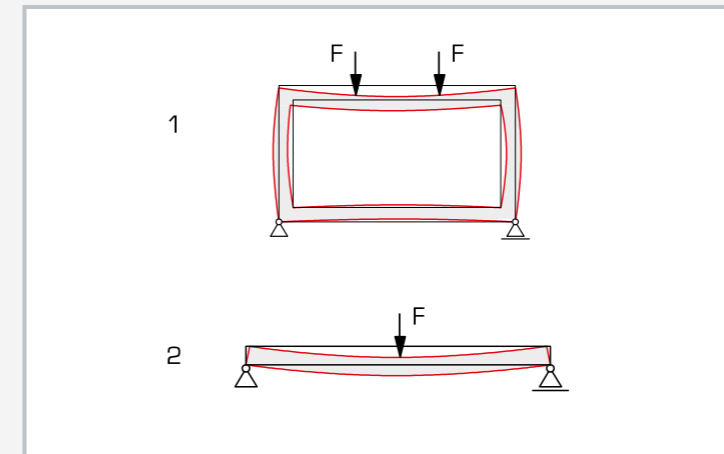
Dans le cadre d'essais, il est possible d'étudier de manière expérimentale des composants de grande taille, tels que des poutres en béton armé ou des bâtis en acier. L'accessoire SE 100.04 est disponible pour les essais sur des treillis. Les forces sur certaines barres typiques du treillis sont enregistrées à l'aide de jauges de contrainte.

Contenu didactique/essais

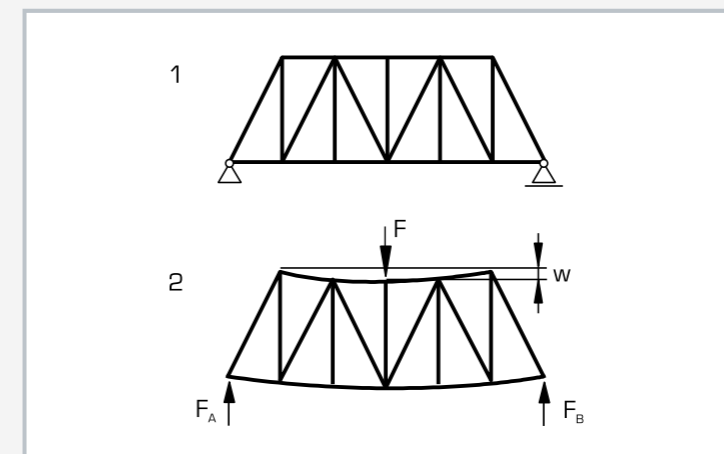
- en association avec les accessoires
 - ▶ essais de flexion
 - ▶ essais de charge
 - ▶ essais de compression



1 pompe pour dispositif de charge, 2 bâti, 3 appui SE 100.01, 4 treillis plan SE 100.04, 5 traverse de mesure, 6 comparateur à cadran SE 100.03, 7 dispositif de charge SE 100.02



Propositions de réalisation d'essais avec différents composants de grande taille, par exemple 1 charge du bâti, 2 charge de poutres



Essai de flexion sur un treillis plan SE 100.04; 1 treillis sans charge, 2 treillis chargé, F force d'essai, FA et FB forces d'appui, w fléchissement

Spécification

- [1] étude de composants à l'échelle 1:1 issus de la construction métallique et du génie civil
- [2] bâti livré démonté sous la forme de modules, passage possible par des portes standards
- [3] espace de travail de grande taille, conçu sous la forme d'un bâti double également adapté aux composants très longs
- [4] installation sur 4 pieds ajustables qui amortissent les vibrations
- [5] un dispositif de charge à entraînement hydraulique pour la génération de forces de compression est disponible en option
- [6] dispositif de charge monté sur roulettes, disponible en option; le SE 100.12 comprend 1 dispositif de charge, le SE 100.02 comprend 2 dispositifs de charge
- [7] dispositifs de charge positionnables au choix dans le bâti
- [8] essais avec différents composants tels que poutres ou bâtis
- [9] treillis plan avec jauges de contrainte pour la mesure de force, disponible comme accessoire (SE 100.04)

Caractéristiques techniques

Bâti

- profils en acier: U 400, St52
- ouverture du bâti lxh: 4100x1700mm
- largeur utile du bâti double: 635mm

Forces d'essai

- position centrale: max. 300kN
- décentrée: max. 2x 200kN

Lxlh: 5000x1350x2820mm
Poids: env. 2600kg

Liste de livraison

- 1 bâti constitué de profils en acier

SE 110.48**Essai de flexion, déformation plastique**

L'illustration montre le SE 110.48 dans un bâti similaire au SE 112.

Description

- observation et détermination du passage de la déformation élastique à la déformation plastique
- enregistrement du diagramme force-allongement

Les sollicitations mécaniques, auxquelles sont soumis de manière générale les éléments de construction, génèrent des contraintes dans le composant ou matériau concerné. Lorsque ces contraintes sont trop élevées, une déformation plastique se produit en plus de la déformation réversible élastique. Le composant ne revient pas entièrement à sa forme initiale; c'est pourquoi on parle ici de modification de forme.

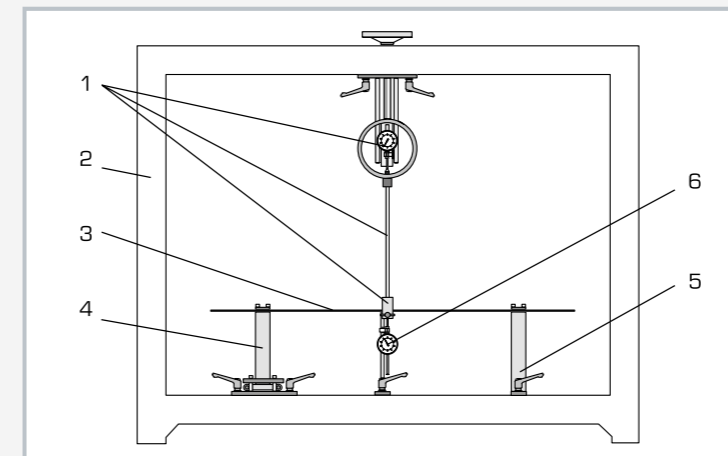
La poutre étudiée dans le SE 110.48 est maintenue à ses deux extrémités. Pour la fixation de la poutre, un palier fixe et un palier libre sont compris dans la liste de livraison. La poutre est soumise à une charge ponctuelle. Le dispositif de charge peut être positionné à n'importe quel endroit du bâti. Un comparateur à cadran mesure la déformation. Des poutres constituées de matériaux et profils différents sont comprises dans la liste de livraison.

L'essai permet d'observer et déterminer avec précision le passage de la zone de déformation élastique à la zone de déformation plastique. Un diagramme force-allongement est établi à partir des valeurs obtenues; il met en évidence le comportement non linéaire.

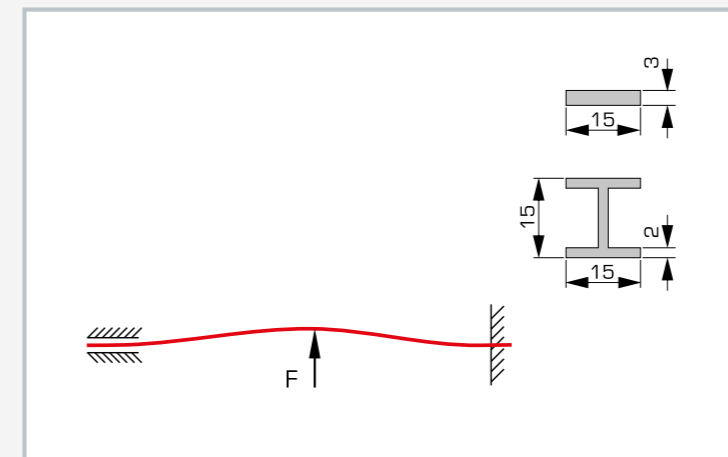
Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement. L'ensemble du montage expérimental est monté dans le bâti SE 112.

Contenu didactique/essais

- poutre soumise à une charge élastique
- enregistrement d'un diagramme force-allongement et détermination du comportement non linéaire
- comparaison entre courbe de charge et courbe de décharge
- démonstration de la non-validité du principe de superposition dans la zone plastique



1 dispositif de charge, 2 bâti SE 112, 3 poutre, 4 palier libre, 5 palier fixe, 6 comparateur à cadran



Déformation plastique d'une poutre; les deux profils de poutre sont compris dans la liste de livraison

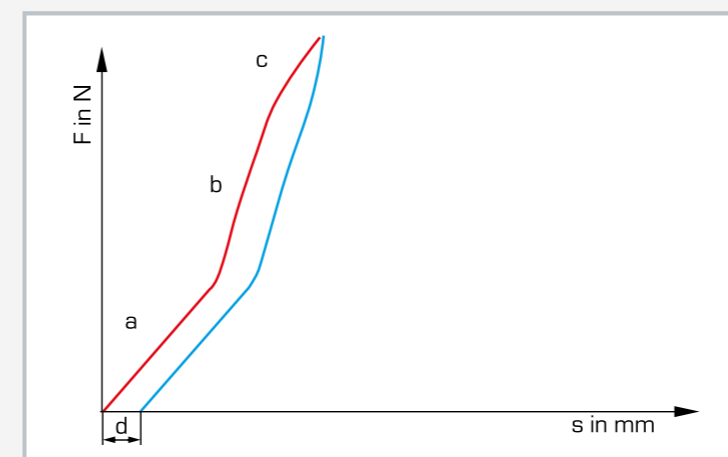


Diagramme force-allongement, pour, en rouge: la courbe de charge et en bleu: la courbe de décharge; a zone élastique, b zone de déformation non linéaire, c zone plastique, d déformation permanente; F force, s allongement

Spécification

- [1] étude d'une poutre jusqu'à sa déformation plastique
- [2] poutre soumise à une charge ponctuelle
- [3] palier fixe et palier libre pour le maintien de la poutre
- [4] poutres composées de différents matériaux et profils
- [5] comparateur à cadran pour la mesure de la déformation
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] montage de l'essai dans le bâti SE 112

Caractéristiques techniques**Poutres**

- 1x 1000x15x3mm, acier
- 1x 1000x15x3mm, aluminium
- 1x profil en H, 1000x15x15x2mm, aluminium

Dispositif de charge

- charge max.: ±5000N
- longueur max. du déplacement: 100mm

Plage de mesure

- déplacement: 0...50mm

Lxlxh: 1170x480x178mm

Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 jeu de poutres
- 1 dispositif de charge
- 2 appuis
- 1 comparateur à cadran
- 1 dispositif de traction
- 1 système de rangement avec mousse de protection
- 1 documentation didactique

WP 400

Essai de résilience, 25Nm



Contenu didactique/essais

- détermination de l'énergie de choc
- détermination de la résilience
- évaluation des caractéristiques de la surface de rupture
- enregistrement d'un diagramme énergie de choc-température
- influence de la forme de l'entaille, du matériau et de la température de l'éprouvette sur l'énergie de choc

Description

- **essai de résilience Charpy**
- **méthode classique de l'essai destructif des matériaux pour le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture des matériaux métalliques**
- **mouton pendule suivant la DIN EN ISO 148-1**

Dans le contrôle qualité industriel, l'essai de résilience est un essai très répandu; il permet de déterminer rapidement et simplement des valeurs caractéristiques pour l'évaluation de matériaux ou de composants.

L'appareil d'essai WP 400 est un mouton pendule solide suivant la DIN EN ISO 148-1, qui a été conçu pour la réalisation d'essais de résilience Charpy. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai.

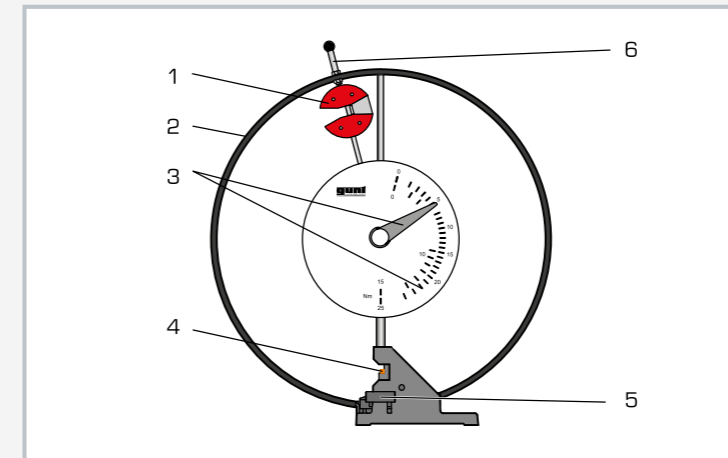
Lors de l'essai, un mouton fixé à un bras de pendule décrit, une fois déclenché, un arc de cercle. Au point le plus bas de la trajectoire du mouton, ce dernier transmet une partie de son énergie cinétique à l'éprouvette entaillée. Lors de l'impact, l'éprouvette est soit détruite, soit déformée par le choc et entraînée entre les appuis.

L'énergie de choc nécessaire à la déformation de l'éprouvette est lue directement sur une échelle de grande taille. Avec le système d'acquisition de données WP 400.20, il est possible de transmettre les valeurs de mesure sur un PC où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel.

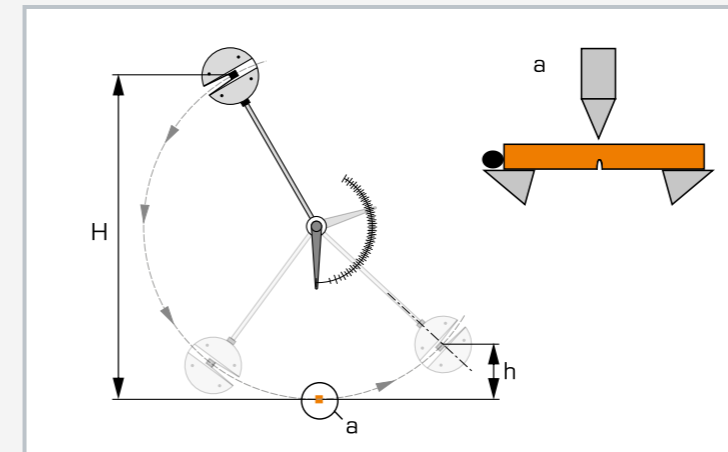
Afin de varier l'énergie de départ, on peut modifier la masse du mouton, en ajoutant ou retirant des poids. Un frein réduit l'énergie résiduelle du mouton à chaque oscillation par le point zéro.

Un anneau de protection assure une réalisation des essais en toute sécurité; il sert également à fixer le mouton. Pour une utilisation sécurisée, le mouton s'active avec deux mains. Un revêtement de protection de la zone de travail WP 400.50 est disponible en tant qu'accessoire.

Les résultats des essais assurent le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture de différents matériaux métalliques. Des éprouvettes non métalliques peuvent également être utilisées. Des éprouvettes de géométries d'entailles, dimensions et matériaux différents, sont comprises dans la liste de livraison.



1 mouton avec poids supplémentaires amovibles, 2 anneau de protection, 3 échelle avec aiguille entraînée, 4 éprouvette de choc, 5 activation à deux mains et frein, 6 fixation du mouton



Principe de fonctionnement de l'essai de résilience Charpy: H hauteur de chute, h hauteur de montée, a mouton et éprouvette vus du dessus

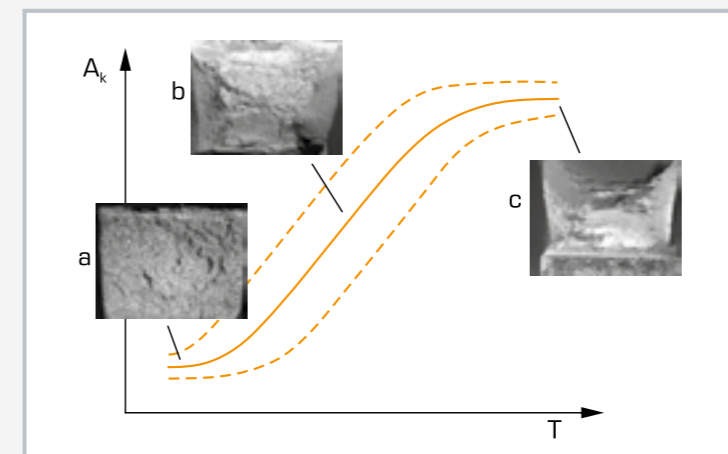


Diagramme énergie de choc-température avec surfaces de rupture typiques: courbe des valeurs moyennes avec zone de distribution, A_k énergie de choc, T température; a position basse avec rupture ductile ou de fragilité, b zone de transition avec rupture mixte, c position haute avec ruptures ductiles

Spécification

- [1] essai de résilience Charpy
- [2] mouton pendule suivant la DIN EN ISO 148-1
- [3] masse du mouton variable grâce à des poids supplémentaires amovibles
- [4] frein pour réduction de l'énergie résiduelle
- [5] sécurité d'utilisation grâce à l'activation à deux mains du mouton, et à la présence d'un anneau de protection de la zone de travail
- [6] revêtement de protection WP 400.50 disponible comme accessoire
- [7] échelle pour l'indication de l'énergie de choc
- [8] éprouvettes de choc conformes à l'ISO (entaille en U/V) et éprouvettes GUNT: aluminium, cuivre, acier, laiton
- [9] système d'acquisition de données (WP 400.20) disponible en option

Caractéristiques techniques

- Mouton pendule
- capacité de travail
 - ▶ 15Nm
 - ▶ 25Nm (avec poids supplémentaires)
 - mouton
 - ▶ poids: 2,05kg et 3,42kg (avec poids supplémentaires)
 - ▶ poids supplémentaires: 4x 0,342kg
 - ▶ vitesse d'impact: 3,8m/s
 - ▶ hauteur de chute: 745mm

- Appuis pour éprouvettes
- distance: 40mm

Éprouvettes de choc

- Lx: 10x5mm, 10x10mm
- section au fond de l'entaille: 10x8 et 10x5mm

Matériaux des éprouvettes

- acier de décolletage 9SMn28K
- acier de traitement C45k
- acier de construction S235JRC+C
- laiton CuZn40Pb2

- Lxhx: 1000x300x1000mm
Poids: env. 55kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de poids supplémentaires
- 1 jeu d'éprouvettes de choc (90 unités)
- 1 documentation didactique

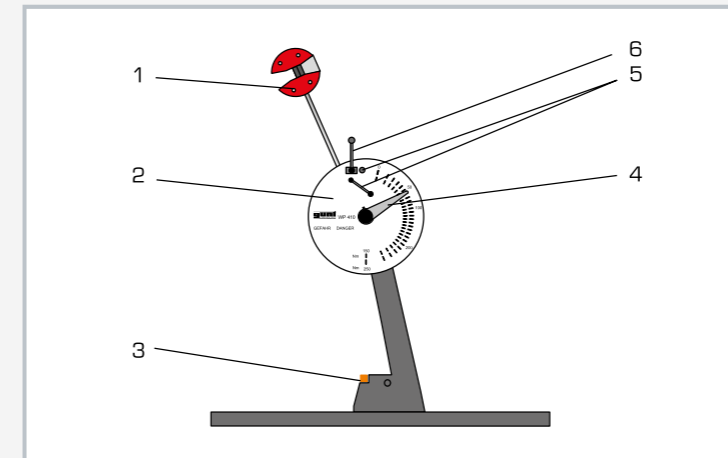
WP 410

Essai de résilience, 300Nm



Contenu didactique/essais

- détermination de l'énergie de choc
- détermination de la résilience
- évaluation des caractéristiques de la surface de rupture
- enregistrement d'un diagramme énergie de choc-température
- influence de la forme de l'entaille, du matériau et de la température de l'éprouvette sur l'énergie de choc



1 mouton avec poids supplémentaires amovibles, 2 échelle, 3 éprouvette de choc, 4 aiguille entraînée, 5 activation à deux mains, 6 frein

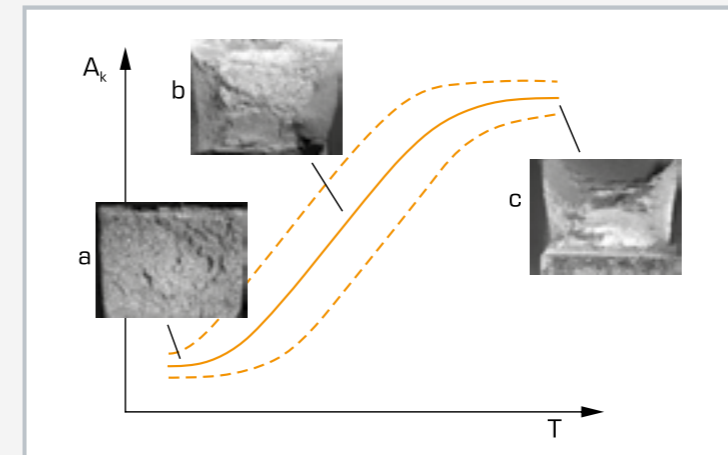


Diagramme énergie de choc-température avec surfaces de rupture typiques: courbe des valeurs moyennes avec zone de distribution, A_k énergie de choc, T température; a position basse avec rupture ductile ou de fragilité, b zone de transition avec rupture mixte, c position haute avec ruptures ductiles



Revêtement de protection pour mouton pendule WP 410.50 disponible en tant qu'accessoire.

Spécification

- [1] essai de résilience Charpy avec capacité de travail accrue
- [2] mouton pendule basé sur les standards industriels / DIN EN ISO148-1
- [3] masse du mouton variable grâce à des poids supplémentaires amovibles
- [4] frein pour réduction de l'énergie résiduelle
- [5] sécurité d'utilisation grâce à l'activation à deux mains du mouton
- [6] revêtement de protection WP 410.50 pour le mouton pendule, disponible comme accessoire
- [7] échelle pour l'indication de l'énergie de choc
- [8] éprouvettes de choc en V ISO en acier inoxydable, éprouvettes en cuivre, laiton et acier disponibles comme accessoires
- [9] système d'acquisition de données (WP 410.20) disponible en option

Caractéristiques techniques

Mouton pendule

- capacité de travail
 - ▶ 150Nm
 - ▶ 300Nm (avec poids supplémentaires)
- mouton
 - ▶ poids: 9,9kg et 19,8kg (avec poids supplémentaires)
 - ▶ poids supplémentaires: 4x 2,475kg
 - ▶ vitesse d'impact: 5,5m/s
 - ▶ longueur du pendule: 840mm
 - ▶ angle de chute: 150°

Appuis pour éprouvettes

- distance: 40mm

Éprouvettes de choc (en V ou en U ISO)

- Lx: 10x10mm

Matériau des éprouvettes

- acier inoxydable 1.4301

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlh: 800x600x1460mm
Poids: env. 360kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de poids supplémentaires
- 1 jeu d'éprouvettes de choc en V ISO en acier inoxydable (10 unités)
- 1 documentation didactique

Description

- **essai de résilience Charpy avec capacité de travail accrue jusqu'à 300Nm**
- **mouton pendule basé sur les standards industriels / DIN EN ISO 148-1**
- **réalisation des essais en toute sécurité grâce à l'activation à deux mains du mouton et à la cage de protection WP 410.50 disponible en option**

Dans le contrôle qualité industriel, l'essai de résilience est un essai très répandu; il permet de déterminer rapidement et simplement des valeurs caractéristiques pour l'évaluation de matériaux ou de composants.

Le banc d'essai WP 410 est un mouton pendule solide suivant la DIN EN ISO 148-1, qui a été conçu pour la réalisation d'essais de résilience Charpy.

Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. L'appareil est suffisamment performant pour permettre de réaliser des essais basés sur les standards industriels.

Lors de l'essai, un mouton fixé à un bras de pendule décrit, une fois déclenché, un arc de cercle. Au point le plus bas de la trajectoire du mouton, ce dernier transmet une partie de son énergie cinétique à l'éprouvette entaillée. Lors de l'impact, l'éprouvette est soit détruite, soit déformée par le choc et entraînée entre les appuis.

L'énergie de choc nécessaire à la déformation de l'éprouvette est lue directement sur une échelle de grande taille. Avec le système d'acquisition de données WP410.20, il est possible de transmettre les valeurs de mesure sur

un PC, où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel. Afin de varier l'énergie de départ, on peut modifier la masse du mouton en ajoutant ou retirant des poids. Un frein réduit l'énergie résiduelle du mouton.

Un revêtement de protection WP 410.50 de la zone de travail, disponible comme accessoire, permet la réalisation des essais en toute sécurité. Pour une utilisation sécurisée, le mouton s'active avec deux mains.

Les résultats des essais assurent le contrôle qualité et l'évaluation du comportement de rupture de différents matériaux métalliques. Des éprouvettes non métalliques peuvent également être utilisées. Des éprouvettes de choc en V ISO en acier inoxydable sont incluses dans la liste de livraison. Des éprouvettes composées d'autres matériaux sont disponibles comme accessoires.

WP 500

Essai de torsion, 30Nm



Description

- génération du moment de torsion par un engrenage à vis sans fin
- mesure du moment de torsion avec un couplemètre
- codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion

L'essai de torsion fait partie des méthodes d'essai destructif, et étudie le comportement plastique des matériaux. Dans la pratique, on se sert de cette méthode d'essai pour tester des composants qui sont tordus pendant leur utilisation, comme par exemple les vis, arbres, axes, fils et ressorts.

L'appareil d'essai WP 500 permet de réaliser des essais de torsion, durant lesquels des éprouvettes sont tordues jusqu'à la rupture. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Lors de l'essai, des éprouvettes métalliques sont tordues jusqu'à leur destruction, suite à une rupture de cisaillement typique.

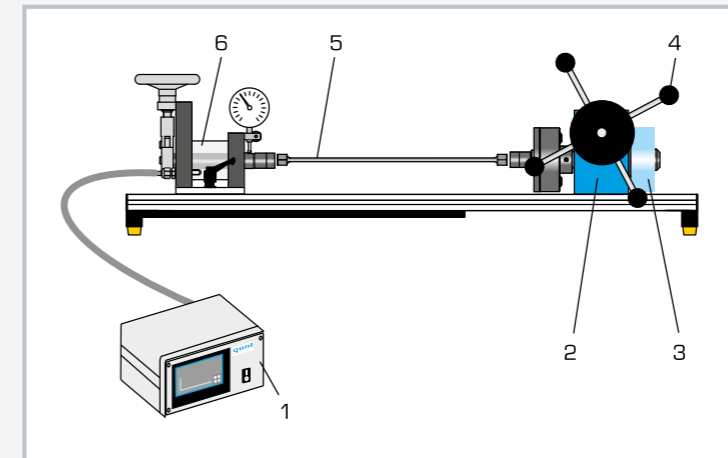
Le moment de torsion est appliqué manuellement par le biais d'une roue à main et d'un engrenage à vis sans fin. La plaque de base est renforcée contre la torsion. Un capot de protection transparent protège des éclats.

Le moment de torsion efficace est mesuré au moyen d'un couplemètre équipé de jauges de contrainte, et peut être lu directement sur un affichage. L'angle de torsion est enregistré par un codeur incrémental et peut lui aussi être lu directement. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel.

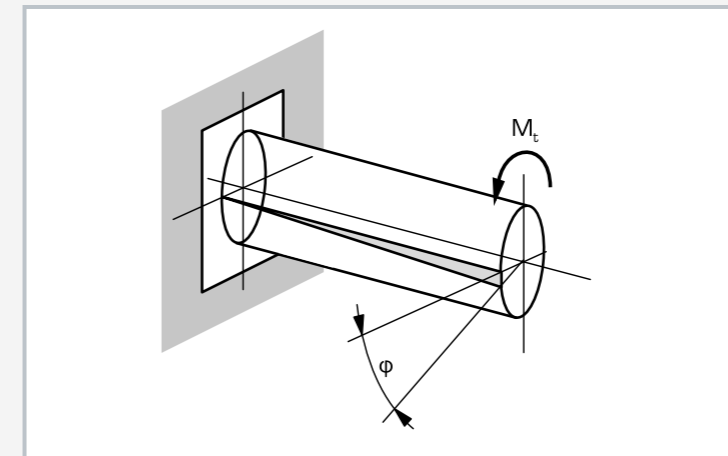
Des éprouvettes constituées de divers matériaux, et de longueurs différentes, sont comprises dans la liste de livraison. Pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes, le dispositif de mesure peut être déplacé sur le bâti rigide.

Contenu didactique/essais

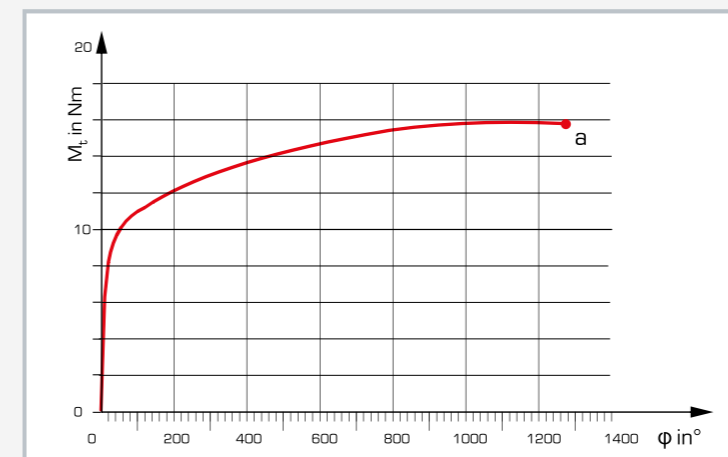
- essais de torsion avec différents matériaux et jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- détermination de la résistance à la torsion
- enregistrement du diagramme moment de torsion-angle de torsion
- influence
 - ▶ du matériau de l'éprouvette
 - ▶ de la section de l'éprouvette
 - ▶ de la longueur de l'éprouvette



1 amplificateur de mesure avec affichage, 2 engrenage à vis sans fin, 3 codeur incrémental, 4 roue à main pour moment de torsion, 5 éprouvette, 6 dispositif de mesure mobile avec couplemètre et unité de compensation



Principe de fonctionnement de l'essai de torsion: M_t moment de torsion, ϕ angle de torsion



Essai de torsion sur des matériaux métalliques jusqu'à la rupture: M_t moment de torsion, ϕ angle de torsion, a rupture de l'éprouvette

Spécification

- [1] essais de torsion avec différentes éprouvettes métalliques jusqu'à leur rupture
- [2] génération manuelle du moment d'essai par une roue à main et un engrenage à vis sans fin
- [3] spécification de l'angle d'entrée par la roue à main
- [4] éprouvettes courtes et longues en acier, aluminium, laiton
- [5] dispositif de mesure mobile pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes
- [6] mesure du moment d'essai par un couplemètre et un amplificateur de mesure
- [7] couplemètre avec compensation de la déformation propre
- [8] mesure de l'angle de torsion par codeur incrémental
- [9] amplificateur de mesure électronique avec écran tactile pour l'affichage du moment de torsion et de l'angle de torsion
- [10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Moment de torsion max.: 30Nm
Dispositif de charge, engrenage à vis sans fin
■ rapport de transmission: 1:63

Logement des éprouvettes: 2x17mm, hexagonal

Éprouvettes

- diamètre: 6mm
- 4x 75mm, acier
- 4x 75mm, aluminium
- 4x 75mm, laiton
- 2x 175mm, acier
- 2x 350mm, acier
- 2x 700mm, acier

Plages de mesure

- couple: 0...30,0Nm
- angle de torsion: 0...±3200°, résolution: 0,1°

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1400x700x500mm [appareil d'essai]
Lxlxh: 230x210x120mm [amplificateur de mesure]
Poids: env. 43kg [total]

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 amplificateur de mesure
- 1 jeu d'éprouvettes de torsion
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

WP 510**Essai de torsion 200Nm, entraînement moteur****Description**

- mesure du moment d'essai avec des jauges de contrainte
- codeur incrémental pour l'enregistrement de l'angle de torsion
- quatre vitesses de déformation différentes ajustables
- essais basés sur les standards industriels

L'essai de torsion fait partie des méthodes d'essai destructif, et étudie le comportement plastique des matériaux. Dans la pratique, on se sert de cette méthode d'essai pour tester des composants qui sont tordus pendant leur utilisation, comme par exemple les vis, arbres, axes, fils et ressorts.

L'appareil d'essai WP 500 permet de réaliser des essais de torsion durant lesquels des éprouvettes sont tordues jusqu'à la rupture. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. L'appareil est suffisamment performant pour pouvoir réaliser des essais basés sur les standards industriels.

Lors de l'essai, des éprouvettes métalliques sont tordues jusqu'à leur destruction suite à une rupture de cisaillement typique.

Le moment de torsion est appliqué par un motoréducteur à forte démultiplication. Un convertisseur de fréquence offre quatre vitesses d'entraînement différentes en marche à droite et à gauche. La plaque de base est renforcée contre la torsion. Un capot de protection transparent protège des éclats.

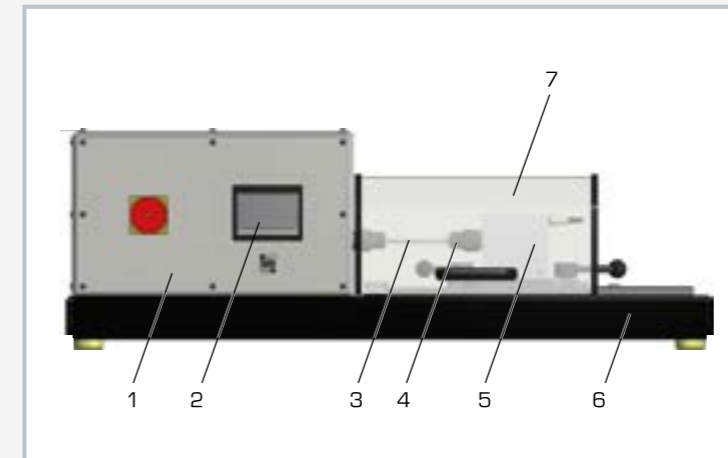
Des éprouvettes constituées de divers matériaux et de longueurs différentes sont comprises dans la liste de livraison. Pour s'adapter aux différentes longueurs des éprouvettes, le dispositif de mesure peut être déplacé sur le bâti rigide.

Le moment de torsion efficace (moment d'essai) est mesuré au moyen d'un couplemètre équipé de jauges de contrainte, et peut être lu directement sur un affichage. L'angle de torsion est enregistré par un codeur incrémental et peut lui aussi être lu directement. La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier.

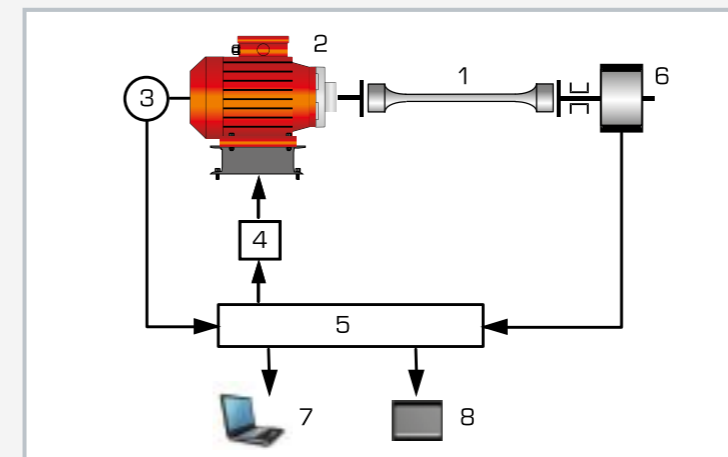
Le logiciel GUNT associé au microprocesseur permet de bénéficier de tous les avantages offerts par la réalisation et l'évaluation des essais assistés par ordinateur. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

Contenu didactique/essais

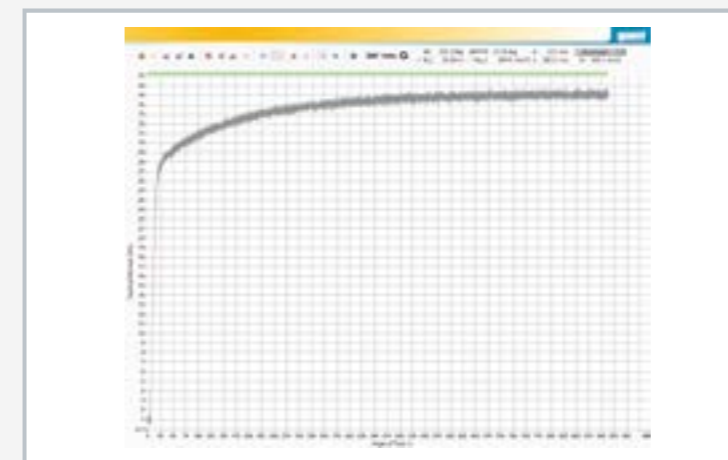
- essais de torsion avec différents matériaux et jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- détermination de la résistance à la torsion
- enregistrement du diagramme moment de torsion-angle de torsion
- détermination de la plage élastique
- influence
 - ▶ du matériau de l'éprouvette
 - ▶ de la section de l'éprouvette
 - ▶ de la longueur de l'éprouvette



1 unité d'entraînement avec motoréducteur, 2 écran tactile pour la commande et l'affichage des valeurs de mesure, 3 éprouvette, 4 logement de l'éprouvette (douille de clé à pipe usuelle de 19mm), 5 butée à serrage rapide sur rails de guidage avec dispositif de mesure du moment, 6 plaque de base résistante à la torsion, 7 capot de protection transparent



1 éprouvette, 2 motoréducteur, 3 codeur incrémental, 4 convertisseur de fréquence, 5 microprocesseur, 6 couplemètre, 7 PC, 8 écran tactile



Capture d'écran du logiciel: moment de torsion en fonction de l'angle de torsion

Spécification

- [1] essais de torsion assistés par moteur avec différentes éprouvettes métalliques jusqu'à la rupture
- [2] génération du moment de torsion par un motoréducteur à vis sans fin; vitesses de torsion ajustables, marche à droite et à gauche
- [3] motoréducteur à vis sans fin, vitesse de torsion réglée par un convertisseur de fréquence
- [4] éprouvettes: acier, aluminium, laiton
- [5] mesure du moment d'essai par un couplemètre
- [6] mesure de l'angle de torsion par un codeur incrémental
- [7] affichage des valeurs de mesure et commande par écran tactile
- [8] technique de mesure assistée par microprocesseur
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Motoréducteur à vis sans fin

- moment de torsion max.: 200Nm
- vitesses de torsion: 50, 100, 200, 500°/min
- convertisseur de fréquence avec 4 vitesses de rotation fixes
- puissance du moteur: 0,12kW, marche à droite et à gauche

Éprouvettes

- diamètre: 9mm, longueur: 100mm
- 3x acier
- 3x aluminium
- 3x laiton
- logement de l'éprouvette: 2x19mm, hexagonal
- longueurs d'éprouvettes possibles: max. 300mm

Plages de mesure

- couple: 0...199,9Nm
- angle de rotation: 0...±3200°, résolution: 0,1°

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1120x550x380mm

Poids: env. 95kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 jeux d'éprouvettes (acier, aluminium, laiton)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

WP 140**Essai de résistance à la fatigue****Description**

- différentes éprouvettes montrent l'influence de l'effet d'entaille et de la qualité des surfaces
- ajustage en continu de l'amplitude de charge
- arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette

Les pièces de construction et de machine en mouvement sont souvent soumises à des charges à variation périodique. Même lorsque la charge dynamique est largement inférieure à la charge statique admissible, cette charge peut entraîner à moyen terme une rupture du composant due à la fatigue du matériau. La durée, ainsi que la stabilité des composants, sont déterminées par le biais de ce que l'on appelle les essais de résistance à la fatigue et essais de fatigue dynamique.

L'appareil d'essai WP 140 montre les principes de base de l'essai de résistance à la fatigue, ainsi que l'élaboration du diagramme de Wöhler. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Lors de l'essai, une éprouvette cylindrique en rotation, fixée sur un côté, est soumise à une force unique. La charge de l'éprouvette correspond à celle d'une poutre en flexion fixe. L'éprouvette est soumise à

une contrainte exclusivement en flexions alternées, et se rompt au bout d'un certain nombre d'alternances de charges en raison de la fatigue du matériau.

La force requise est générée dans le dispositif de charge au moyen d'une balance à ressort et d'un palier libre. L'amplitude de charge peut être ajustée en continu par le biais de la précontrainte de la balance à ressort, à l'aide d'une broche filetée. Un compteur électronique enregistre le nombre d'alternances de charges, et l'affiche sous forme numérique. Les impulsions requises pour le compteur sont délivrées par un détecteur de proximité inductif, situé sur l'accouplement du moteur. Le compteur peut également être utilisé pour mesurer la vitesse de rotation.

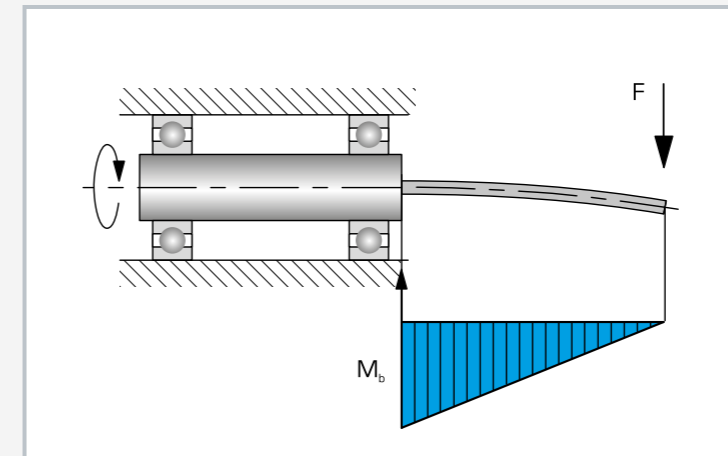
En cas de rupture de l'éprouvette, le moteur électrique est arrêté automatiquement par l'interrupteur d'arrêt. Un capot de protection protège des éclats. Des éprouvettes avec différents congés sont comprises dans la liste de livraison, afin de pouvoir démontrer l'effet d'entaille et l'influence des surfaces. Avec le système d'acquisition de données WP 140.20, on peut transférer les valeurs de mesure sur un PC où elles pourront être évaluées à l'aide du logiciel.

Contenu didactique/essais

- résistance à la fatigue de barres sous contrainte en flexions alternées
- influence de différents rayons de congé et qualités des surfaces sur la résistance à la fatigue
- diagramme de Wöhler



1 capot de protection, 2 moteur électrique, 3 coffret de commande, 4 outil, 5 éprouvettes, 6 palier, 7 éprouvette maintenue, 8 dispositif de charge avec balance à ressort et roue à main



Principe de fonctionnement de l'essai de résistance à la fatigue: éprouvette en rotation maintenue d'un seul côté, soumise à une force unique; F force, M_b moment de flexion

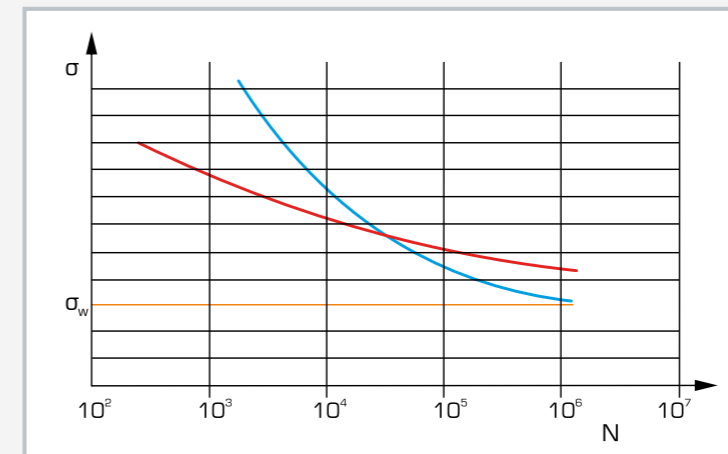


Diagramme de Wöhler pour deux matériaux différents N: nombre d'alternances de charges σ : sollicitation en contrainte de l'éprouvette Plus le nombre d'alternances de charges augmente, plus la sollicitation admissible d'un matériau se rapproche asymptotiquement de la résistance dynamique à la fatigue σ_w .

Spécification

- [1] principes de base de l'essai de résistance à la fatigue
- [2] entraînement par moteur électrique
- [3] arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette
- [4] dispositif de charge avec palier libre mobile, broche filetée avec roue à main, balance à ressort
- [5] éprouvettes cylindriques en acier, différents congés
- [6] mesure de la vitesse de rotation par un capteur de vitesse inductif ou un compteur électronique pour alternances de charges
- [7] affichage numérique du compteur
- [8] capot de protection pour un fonctionnement sécurisé
- [9] système d'acquisition de données (WP 140.20) disponible en option

Caractéristiques techniques

Moteur électrique
 ■ vitesse de rotation: 2800min⁻¹
 ■ puissance: 0,37kW

Force de charge
 ■ 0...300N

Compteur de cycles de charge électronique
 ■ 8 chiffres numériques
 ■ commutable sur affichage de la vitesse de rotation

Éprouvettes
 ■ matériau: acier Ck35
 ■ 3 congés différents

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 Lxlxh: 840x410x600mm
 Poids: env. 31kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 documentation didactique

WP 600

Essai de fluage



Description

- phénomènes typiques lors des processus de fluage
- essais possibles à température de local et à température inférieure

Les composants soumis à des sollicitations constantes sur une longue durée subissent une déformation plastique. Ce comportement des matériaux est appelé fluage. L'essai de fluage est une méthode d'essai destructif qui sert à déterminer le comportement de matériaux (processus de fluage) à température d'essai constante (température de local mais aussi inférieure à la température de local) et après l'action d'une charge constante sur une longue durée.

L'appareil d'essai WP 600 montre des phénomènes typiques comme les phases de différentes vitesses de fluage, ou le comportement de fluage en fonction de la température. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. Pour atteindre des vitesses de fluage acceptables dès la température de local, on utilise des éprouvettes en plomb et en plastique.

Une boîte de température transparente, équipée d'accumulateurs de chaleur, permet d'effectuer facilement des essais en dessous de la température de local.

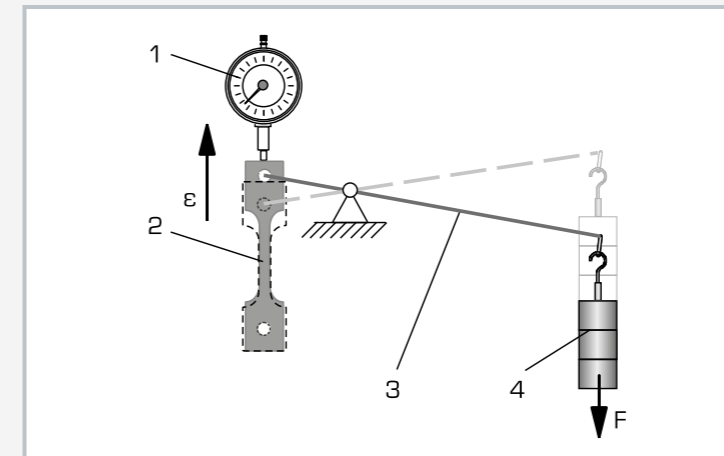
Lors de l'essai, l'éprouvette est soumise, à température constante, à une charge de traction elle aussi constante. La charge de traction est générée par un levier et des poids progressifs. Afin d'éviter que des contraintes en flexion ne s'exercent sur l'éprouvette, les porte-éprouvettes sont équipés de paliers à couteau. Une butée mobile protège le comparateur à cadran en cas de rupture de l'éprouvette, et évite que les charges viennent percuter l'appareil d'essai. L'allongement de l'éprouvette en fonction du temps est enregistré par un comparateur à cadran et un chronographe, et représenté dans un diagramme déformation-temps appelé la courbe déformation-temps.

Contenu didactique/essais

- processus de fluage sur des éprouvettes en différents matériaux
- enregistrement du diagramme déformation-temps (courbe déformation-temps)
- influence de la température et de la charge sur le fluage
- charge et relaxation des plastiques



1 thermomètre pour boîte de température, 2 accumulateur pour le refroidissement de l'éprouvette, 3 éprouvette maintenue, 4 éprouvettes, 5 poids, 6 butée mobile pour le levier, 7 levier, 8 comparateur à cadran



Principe de fonctionnement de l'essai de fluage: 1 comparateur à cadran, 2 éprouvette, 3 levier pour la transmission de la force, 4 poids; F force, ε déformation

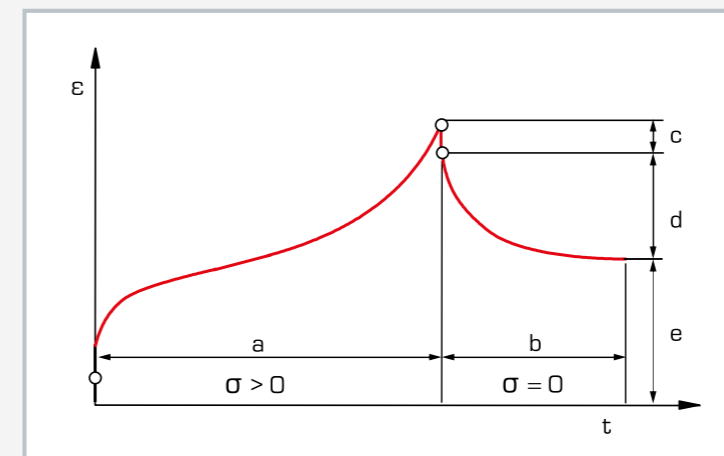


Diagramme déformation-temps (courbe déformation-temps) du plastique: a charge, b décharge, c relaxation élastique, d relaxation plastique, e déformation permanente, ε déformation, σ contrainte, t temps

Spécification

- [1] étude du comportement de fluage de différents matériaux dans des essais de fluage
- [2] charge constante de l'éprouvette grâce à un bras de levage et des poids progressifs
- [3] éprouvettes plates en plomb et en plastique (PE)
- [4] essais possibles à températures de local et inférieure
- [5] boîte de température avec accumulateurs pour le refroidissement des éprouvettes
- [6] comparateur à cadran pour la détermination de l'allongement
- [7] chronographe pour l'enregistrement du temps

Caractéristiques techniques

Éprouvettes

- Lxl: 25x5mm, épaisseur de 2mm
- 10x plomb
- 10x plastique (PE)

Poids

- 1x 1N (suspente)
- 2x 5N
- 3x 2N
- 3x 1N
- 2x 0,5N

Plages de mesure

- contrainte de traction: 5...25Nmm²
- déplacement: 0...10mm, graduation: 0,01mm
- température: -50...300°C

Lxlh: 700x350x510mm

Poids: env. 23kg

Liste de livraison

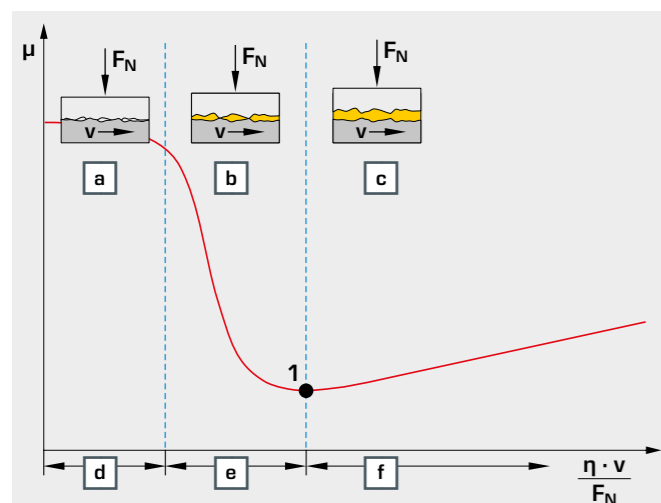
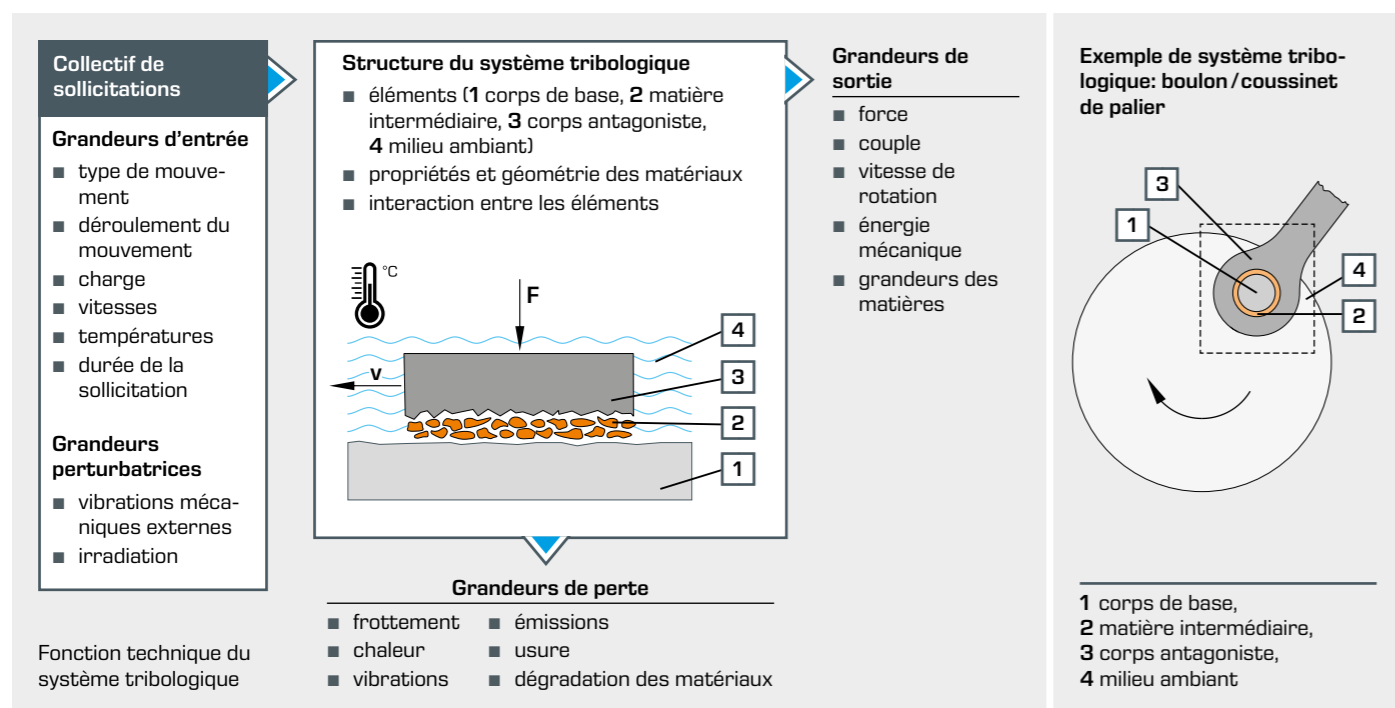
- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 jeu de poids
- 1 chronographe
- 1 boîte de température avec 2 accumulateurs et 1 thermomètre
- 1 documentation didactique

Tribologie et corrosion

Tribologie

La tribologie est la science et technique qui étudie l'interaction de surfaces en mouvement relatif. Dans le domaine technique, la tribologie sert à étudier le frottement, l'usure et la lubrification. Cette discipline s'étend à tous les domaines du développement, de la conception mécanique, de la production et de la maintenance des systèmes locomoteurs mécaniques. Les processus d'usure sont analysés à l'aide de ce que l'on appelle un système tribologique, et sont décrits par des grandeurs de perte "rela-

tives au système". Un système tribologique comprend tous les éléments (composants et matières) qui participent à une sollicitation tribologique ainsi que leurs propriétés. Des composants matériels tels que le corps de base, le corps antagoniste, la matière intermédiaire et le milieu ambiant forment la structure de ce système. Les grandeurs d'entrée et les grandeurs perturbatrices sont rassemblées dans un collectif de sollicitations.



Courbe de Stribeck pour frottement hydrodynamique

μ coefficient de frottement, n vitesse de rotation, F_N charge, v vitesse, η viscosité
a frottement entre des corps solides, **b** frottement mixte, **c** frottement fluide, **d** lubrification limite, **e** lubrification à film mince, **f** lubrification fluide, **1** point de déclenchement

Lors de l'évaluation des systèmes tribologiques, des procédés de mesure adéquats permettent de déterminer les grandeurs de perte comme le coefficient de frottement, les forces de frottement et les vibrations à friction. La modification d'une grandeur d'entrée ou d'une grandeur perturbatrice peut déjà influencer, de manière significative, le comportement de frottement et d'usure. Pour étudier les dépendances des grandeurs de perte, il faut donc réaliser des essais expérimentaux.

La courbe de Stribeck offre une bonne vue d'ensemble des états de frottement rencontrés, par exemple, sur des paliers lisses. Elle met en évidence le rapport existant entre le coefficient de frottement, la pression de friction et la force de palier. Plus la vitesse augmente, plus le film lubrifiant s'épaissit, et l'on traverse successivement les zones de frottement entre des corps solides, de frottement mixte et de frottement fluide, expérience durant laquelle les surfaces sont entièrement séparées par le film lubrifiant.

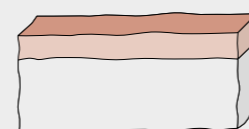
Le passage entre frottement mixte et frottement fluide est appelé point de déclenchement. C'est le frottement fluide qui produit l'usure la plus réduite.

Corrosion

On appelle corrosion la réaction d'un matériau métallique avec son environnement, qui produit une altération mesurable du matériau. Cette dernière peut entraîner le dysfonctionnement d'un composant métallique ou d'un système tout entier.

Les formes d'altération des matériaux par la corrosion

Dégradation de surface, dégradation régulière de la surface de la pièce usinée



Corrosion perforante, cavités ayant la forme de cratères ou de piqûres qui minent la surface

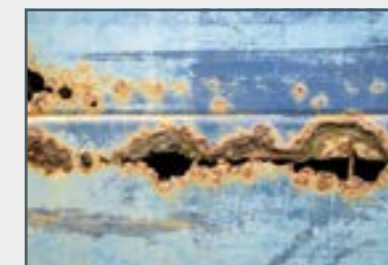
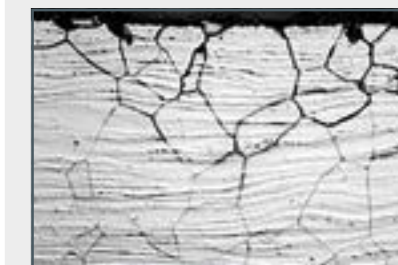
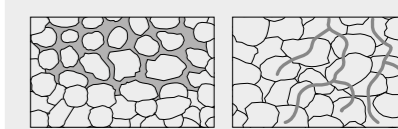


Illustration du bas et de gauche: corrosion intercrystalline le long des limites de grain.

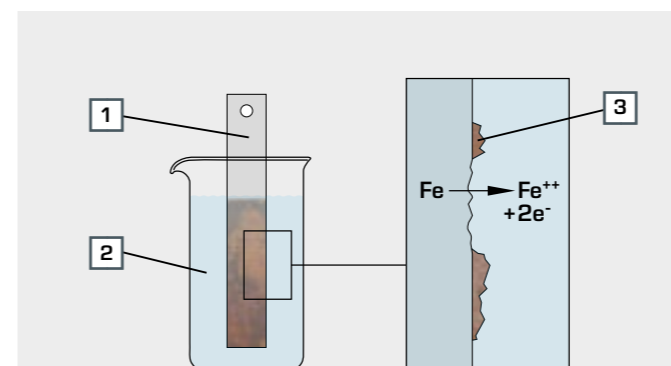
Illustration de droite: corrosion transcrystalline traversant les grains



Les processus de la corrosion

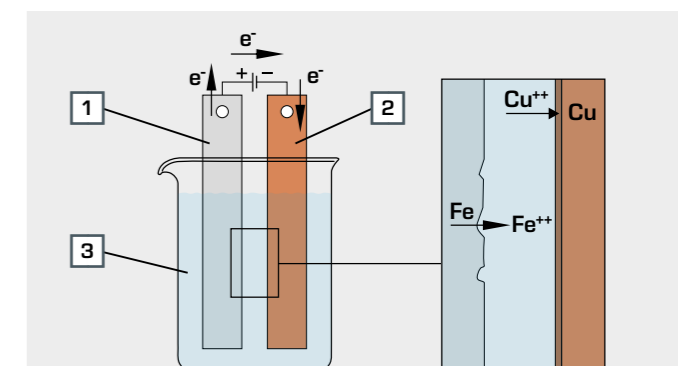
Les conditions ambiantes du matériau jouent un rôle essentiel dans la corrosion. Il s'agit principalement des gaz se trouvant dans l'atmosphère et les liquides environnants. Les solutions

peuvent être des électrolytes (liquides conducteurs d'ions). Dans le cas des métaux, la corrosion est due principalement aux processus électrochimiques ou chimiques.



Corrosion par l'oxygène: un échange direct d'électrons se produit entre le fer et l'eau enrichie en oxygène. Le fer se lie à l'oxygène pour former un oxyde de fer.

1 électrode (fer Fe), 2 électrolyte enrichie en oxygène (eau), 3 oxyde de fer, Fe^{++} ion fer, e^- électron libre



La **corrosion électrochimique** est provoquée par la formation d'éléments galvaniques. Lorsque deux métaux différents se touchent, un courant électrique circule lorsqu'on est en présence d'une électrolyte. Le métal le plus commun des deux se dissout alors. Selon la nature des métaux, la quantité de courant qui circule est plus ou moins grande, et il se produit, ou non, une destruction.

1 anode (fer Fe), 2 cathode (cuivre Cu), 3 électrolyte (sulfate de cuivre $CuSO_4$), Cu^{++} ions cuivre, e^- électron, Fe^{++} ion fer

TM 260

Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie



Description

- **module de base pour l'étude de différents cas de frottements de glissement et de roulement pur**
- **force de serrage par des poids et un levier**
- **mesure électronique des forces de frottement entre les partenaires de friction**

La tribologie étudie le frottement, l'usure et la lubrification. Un frottement se produit lorsque deux corps solides sont en contact et que leur mouvement est entravé. Si une perte progressive de matière s'ajoute à cela, elle est qualifiée d'usure. Pour minimiser le frottement et l'usure, on utilise des lubrifiants appropriés.

L'unité d'entraînement TM 260, associée aux appareils d'essai TM 260.01 à TM 260.06, couvre un cours complet d'étude des phénomènes tribologiques avec toute une série d'essais. Différents cas de frottement par roulement et par glissement peuvent être présentés de manière très explicite en classe ou étudiés dans le laboratoire. Les paramètres d'un système tribologique sont enregistrés et évalués. Une sélection très complète de paires de friction permet, entre autres, de montrer que la force de frottement ne dépend pas des surfaces de contact.

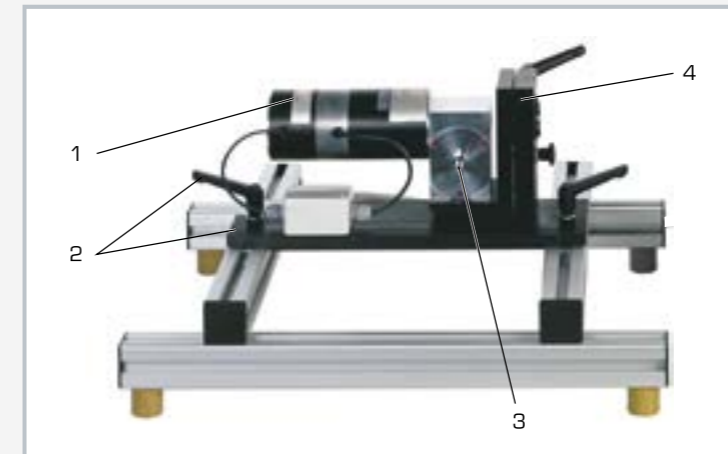
Le TM 260 est constitué d'un bâti sur lequel une unité d'entraînement est montée avec un appareil d'essai, et d'un appareil d'affichage et de commande. Il est rapide et facile à monter à l'aide des éléments à serrage rapide. L'unité d'entraînement dispose d'un support pivotant du bloc-moteur. Cela permet de placer l'arbre d'entraînement en position horizontale ou verticale. La vitesse de rotation du moteur à courant continu est ajustable en continu; elle est enregistrée par un codeur incrémental. La mesure des forces de frottement est assurée par des capteurs de force dans chaque appareil d'essai.

L'appareil d'affichage et de commande affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

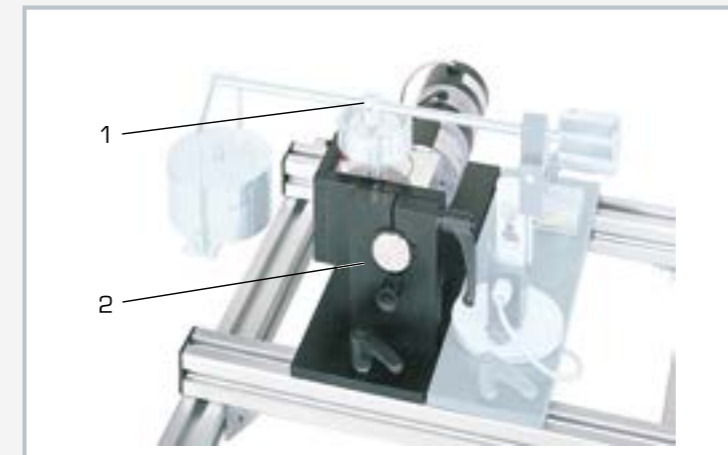
Le cours permet de réaliser les essais suivants: Frottement de roulement sur des roues de friction (TM 260.01), Comportement élasto-hydrodynamique (TM 260.02), Frottement de glissement sur goupille-disque (TM 260.03), Vibrations à friction (TM 260.04), Frottement de glissement sur goupille cylindrique-rouleau (TM 260.05), Répartition de pression dans des paliers lisses (TM 260.06).

Contenu didactique/essais

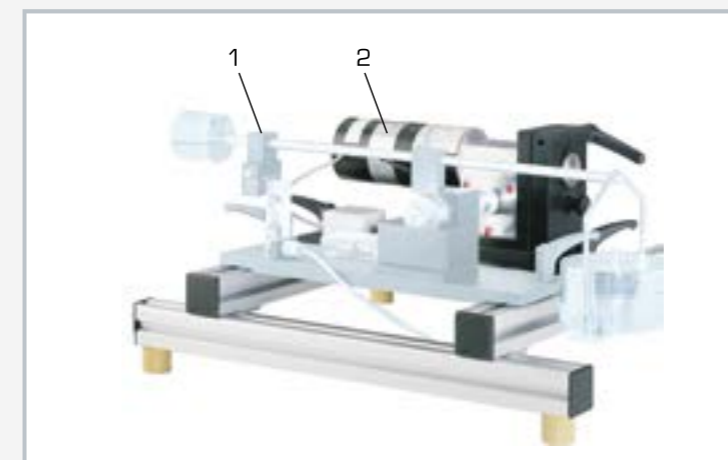
- en association avec les appareils d'essai TM260.01 à TM 260.06
 - ▶ frottement de roulement de deux disques avec glissement
 - ▶ comportement élastohydrodynamique (théorie EHD), frottement de roulement pur d'une bille contre une surface plane
 - ▶ contrôle de l'usure: tige contre disque
 - ▶ contrôle de l'usure: essai de la roue de friction
 - ▶ vibrations à friction et effets slip-stick
 - ▶ répartition de pression dans un palier lisse



1 moteur et engrenage, 2 éléments à serrage rapide, 3 arbre d'entraînement, 4 entraînement pivotant



1 l'appareil d'essai TM 260.03 étudie un système tribologique, composé d'une tige et d'un disque, qui glissent l'un sur l'autre, 2 unité d'entraînement TM 260



1 l'appareil d'essai TM 260.05 étudie un système tribologique, composé d'une tige cylindrique et d'un rouleau, qui glissent l'un sur l'autre (contact ponctuel), 2 unité d'entraînement TM 260

Spécification

- [1] module de base avec unité d'entraînement et appareil d'affichage et de commande pour l'étude des phénomènes tribologiques
- [2] position horizontale ou verticale de l'arbre d'entraînement grâce au bloc-moteur pivotant
- [3] différents appareils d'essai disponibles comme accessoires
- [4] fixation de l'unité d'entraînement et des appareils d'essai par des éléments à serrage rapide
- [5] unité d'entraînement composée d'un moteur à courant continu, avec engrenage à vis sans fin
- [6] vitesse de rotation du moteur à courant continu ajustable en continu
- [7] mesure de la vitesse de rotation par un codeur incrémental
- [8] mesure de la force de frottement par un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation sur l'appareil d'affichage et de commande

Caractéristiques techniques

Moteur à courant continu

- vitesse de rotation nominale: 3000min⁻¹
- couple: 18,5Nm

Engrenage à vis sans fin: transmission 15:1

- vitesse de rotation de service: 0...200min⁻¹, régulation électronique

Plages de mesure

- force: 0...50N
- vitesse de rotation: 0...200min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option

Lxlxh: 500x450x280mm (module de base)

Poids: env. 10kg

Lxlxh: 360x330x170mm (appareil d'affichage et de commande)

Poids: env. 6kg

Liste de livraison

- 1 module de base
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu de câbles
- 1 documentation didactique

TM 260.01**Frottement de roulement sur des roues de friction**

L'illustration montre le TM 260.01 sur le bâti du TM 260.

Description

- forces de frottement entre deux roues de friction roulant l'une sur l'autre
- influence du glissement sur la force de frottement
- possibilité d'utiliser différents lubrifiants

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, et entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps. Un frottement de roulement pur apparaît lorsque deux corps roulent l'un sur l'autre, sans glissement. Lors d'un frottement de roulement, un faible mouvement de glissement se superpose au mouvement de roulement. Le frottement de roulement est donc la combinaison d'un frottement de roulement pur et d'un frottement de glissement.

Le système tribologique du TM 260.01 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de roulement, et d'étudier les forces de frottement.

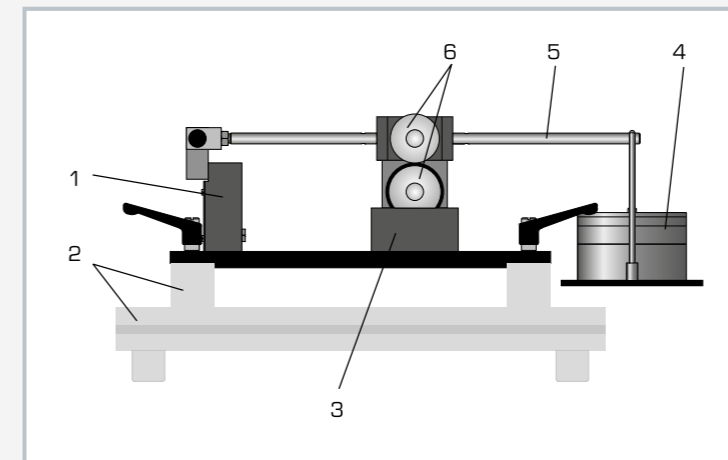
L'appareil d'essai comprend deux roues de friction avec la paire de matériaux aluminium/caoutchouc aux points de contact. Le glissement entre les roues de friction est maintenu constant à 4% au moyen d'un engrenage. La force de serrage peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max. L'appareil d'essai est pourvu d'un réservoir d'alimentation en lubrifiant. Il est possible d'étudier différents états de lubrification tels que le frottement à sec, la lubrification à l'eau ou à l'huile.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement de la roue motrice est assuré par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

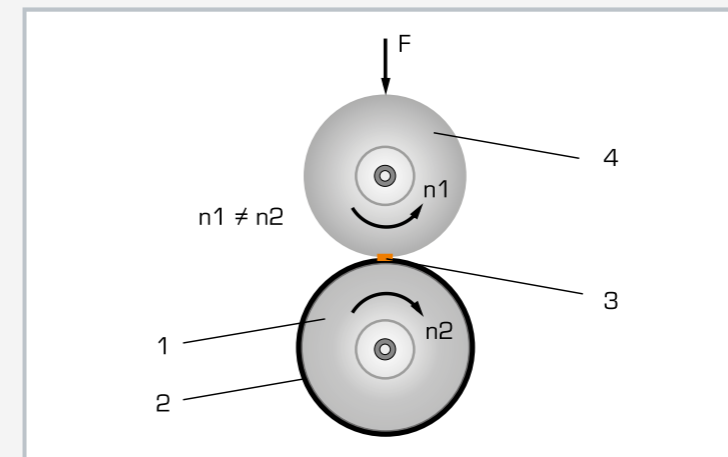
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement.

Contenu didactique/essais

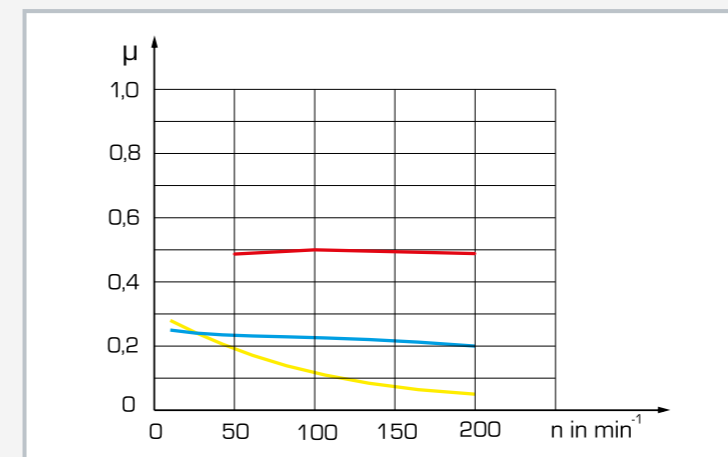
- en association avec l'unité d'entraînement
 - ▶ détermination des forces de frottement en fonction des charges, de la lubrification et de la vitesse de rotation de service
 - ▶ influence du glissement sur la force de frottement
 - ▶ détermination des coefficients de frottement



1 capteur de force, 2 bâti du TM 260, 3 réservoir de lubrifiant, 4 poids, 5 levier du dispositif de charge, 6 roues de friction



Exemple de système tribologique: les roues de friction avec la paire de matériaux aluminium/caoutchouc: 1 roue de friction motrice comme corps de base, 2 anneau en caoutchouc, 3 lubrifiant comme matière intermédiaire, 4 roue de friction entraînée comme corps antagoniste; F force, n vitesse de rotation



Coefficients de frottement pour différentes lubrifications à charge constante; μ coefficient de frottement, n vitesse de rotation, en rouge: frottement à sec, en bleu: lubrification à l'eau, en jaune: lubrification à l'huile

Spécification

- [1] forces de frottement entre deux roues de friction roulant l'une sur l'autre
- [2] montage facile et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement de la roue motrice par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] glissement entre les roues de friction maintenu constant à 4% grâce à l'engrenage
- [5] charge des roues de friction par le biais d'un bras de levier et de poids progressifs
- [6] roues de friction Paire de matériaux: aluminium/caoutchouc
- [7] utilisation de différents lubrifiants
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation, par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques**Dispositif de charge**

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

Roues de friction

- Ø=49mm
- Ø=45mm, avec anneau en caoutchouc

Transmission de l'engrenage

- i: 0,96, glissement env. 23%

Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

Poids

- 1x 5N (suspente)
- 1x 5N
- 1x 10N
- 1x 20N

Lxlh: env. 480x250x150mm

Poids: env. 7kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 roues de friction
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 260.02

Comportement élasto-hydrodynamique



Contenu didactique/essais

- en association avec l'unité d'entraînement
- ▶ détermination de l'épaisseur du film lubrifiant au point de contact entre une bille et une surface plane – comparaison avec la valeur théorique
- ▶ étude de l'influence de la charge et de la vitesse de rotation sur l'épaisseur du film lubrifiant

Description

- **comportement élasto-hydrodynamique entre la paire de friction bille-disque en verre en rotation**
- **étude de l'épaisseur et de la forme du film lubrifiant**

La lubrification élasto-hydrodynamique se produit sur les paliers à roulement, les engrenages à roues dentées et les poussoirs à came, dont les surfaces de contact sont fortement sollicitées. Sous l'effet de pressions de contact élevées, ces surfaces subissent une déformation élastique. La théorie de l'élasto-hydrodynamique (théorie EHD) considère la déformation élastique des corps en contact, et fournit les bases de calcul de l'influence de la lubrification sur les dommages des roues dentées et paliers à roulement.

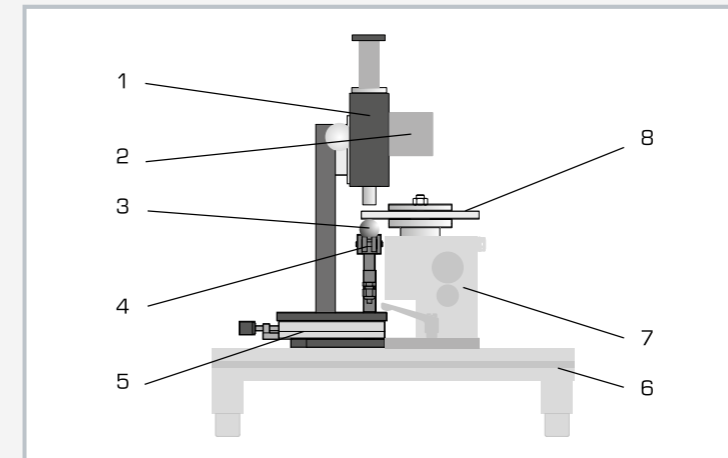
Le système tribologique du TM 260.02 permet d'obtenir une représentation claire du comportement élasto-hydrodynamique des couches de films lubrifiants.

À cet effet, on détermine le film lubrifiant se trouvant entre une bille et un disque en verre, et on l'étudie en détail à l'aide d'un microscope à lumière incidente. L'appareil d'essai comprend, comme paire de friction, un disque en verre en rotation et une bille en acier qui est poussée par le bras contre le disque en verre. La force de serrage entre les partenaires de friction peut être ajustée en continu au moyen d'un levier. Un film lubrifiant se trouve au point de contact entre la bille et le disque en verre. Le disque en verre est à faces planes et parallèles, et doté d'un revêtement diélectrique. La surface de la bille en acier trempé est polie. Le microscope à lumière incidente repose sur une table en croix x-y réglable et dispose d'un système de mise au point.

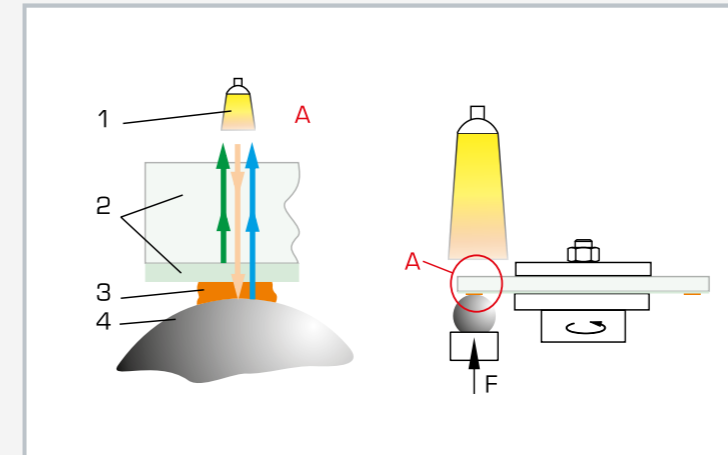
Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide.

L'entraînement du disque en verre est assuré par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de serrage et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

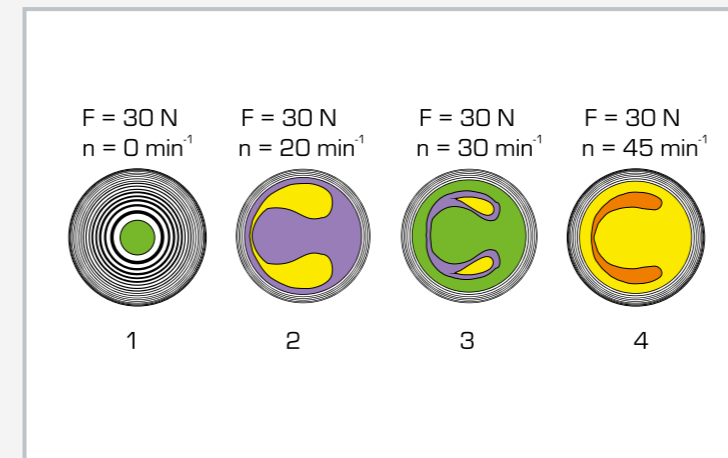
Lors de l'essai, les rayons de lumière du microscope à lumière incidente traversent le disque en verre et le film lubrifiant, et sont réfléchis par la surface de la bille en acier. Les rayons de lumière sont coupés par le film lubrifiant, de sorte que des anneaux d'interférence colorés sont visibles. La longueur d'onde de la lumière augmente ou baisse en fonction de l'épaisseur changeante du film lubrifiant. L'épaisseur du film lubrifiant est déterminée visuellement par le biais des couleurs des anneaux d'interférence qui se forment. Un capteur de force assure la mesure de la force de serrage.



1 microscope à lumière incidente, 2 lampe halogène, 3 bille en acier, 4 dispositif de charge, 5 table en croix, 6 bâti du TM 260, 7 unité d'entraînement du TM 260, 8 disque en verre



Détermination de l'épaisseur du film lubrifiant par interférence optique: 1 lampe halogène, 2 disque en verre avec revêtement diélectrique, 3 film lubrifiant, 4 bille en acier; flèche orange: lumière incidente, en vert: le revêtement diélectrique réfléchit 30% de la lumière, en bleu: la bille en acier réfléchit la lumière restante



Influence de la vitesse de rotation sur l'épaisseur du film lubrifiant: 1 cas statique, 2 à 4 augmentation de l'épaisseur du film lubrifiant (huile lubrifiante utilisée: ISO VG 100)

Spécification

- [1] comportement élasto-hydrodynamique d'une couche de film lubrifiant entre une bille et un disque en verre en rotation
- [2] montage rapide et facile de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] détermination de l'épaisseur de la couche de film lubrifiant par interférence optique
- [4] entraînement du disque en verre par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] bille en acier trempé, poli
- [6] disque en verre en rotation à faces planes et parallèles avec revêtement diélectrique
- [7] charge continue de la bille par un bras de levier
- [8] mesure de la charge par un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation, ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques

Dispositif de charge

- charge max.: 150N
- transmission par le bras de levier: 3:1

Bille

- diamètre: 25,4mm
- acier, trempé, poli

Disque en verre

- diamètre: 150mm, à faces planes et parallèles
- revêtement: BK 7, diélectrique, R=30%

Microscope

- agrandissement: 50 fois
- lampe halogène: 10W

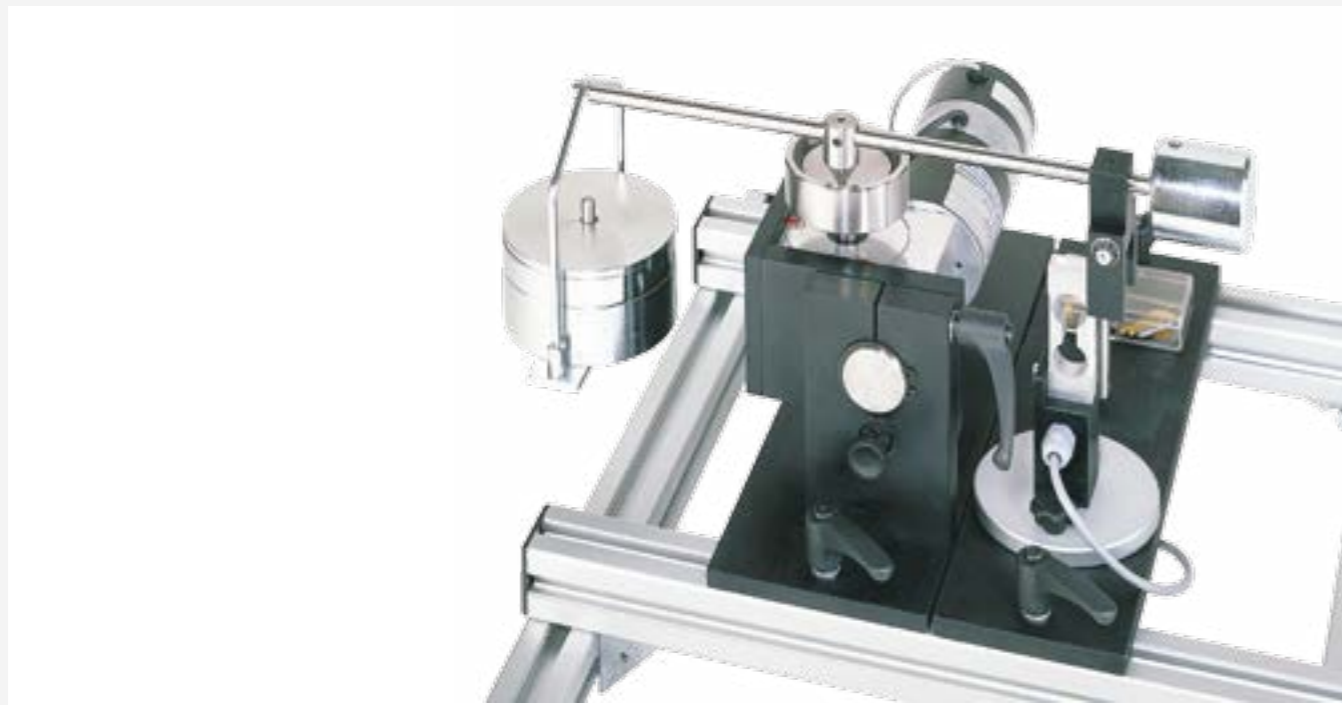
Capteur de force: 0...50N

Lxhx: 350x250x550mm

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 bille
- 1 disque en verre
- 1 documentation didactique

TM 260.03**Frottement de glissement sur goupille - disque****Description**

- force de frottement entre deux paires de friction glissant l'une contre l'autre
- étude de l'usure
- possibilité d'utiliser différents lubrifiants

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, qui entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps.

Le système tribologique du TM 260.03 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de glissement, et d'étudier les forces de frottement. L'appareil d'essai comprend comme paire de friction une tige fermement fixée dont la face avant est appuyée axialement contre un disque rotatif. La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max.

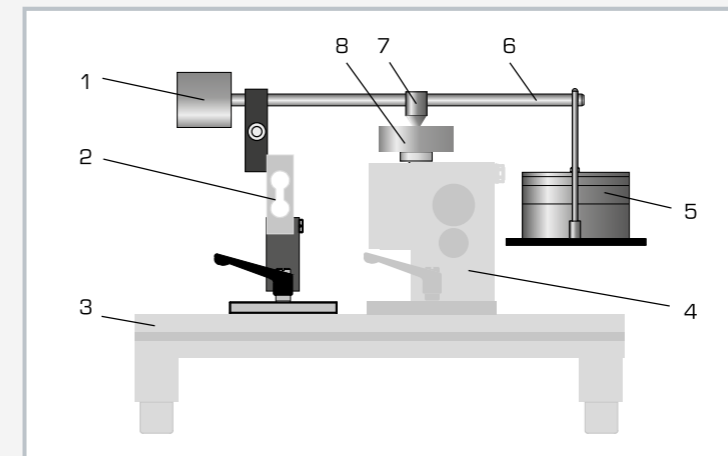
Le disque rotatif est encerclé par un bécot ouvert qui peut être rempli pour les essais avec différents lubrifiants. Il est possible d'étudier différents états de lubrification tels que le frottement à sec, la lubrification à l'eau ou à l'huile. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des tiges constituées de différents matériaux sont incluses dans la liste de livraison.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité, grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement du disque est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

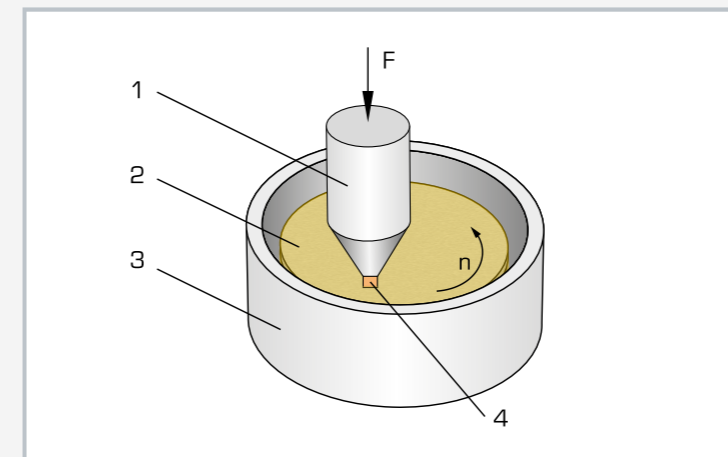
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement. En mesurant la modification de longueur (raccourcissement) de la tige, on peut déterminer l'usure avec exactitude.

Contenu didactique/essais

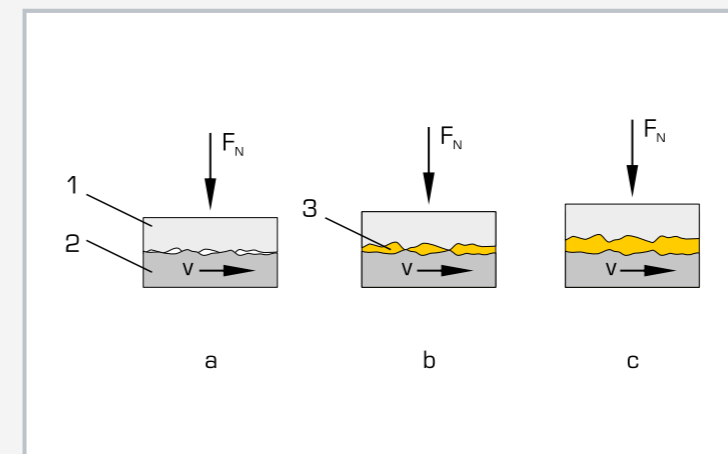
- en association avec l'unité d'entraînement
 - ▶ forces de frottement avec différentes paires de friction et charges
 - ▶ forces de frottement avec différentes lubrifications
 - ▶ forces de frottement à différentes vitesses de rotation relatives des partenaires de friction
 - ▶ usure avec différents paramètres de friction et états de lubrification



1 contrepoids, 2 capteur de force, 3 bâti de l'unité, 4 unité d'entraînement de l'unité, 5 poids, 6 levier du dispositif de charge, 7 tige, 8 disque



Système tribologique tige et disque: 1 tige comme corps antagoniste, 2 disque rotatif comme corps de base, 3 bécot avec lubrifiant comme matière intermédiaire, 4 surface de contact; F force, n vitesse de rotation



Effet du film lubrifiant sur le frottement: 1 tige, 2 disque, 3 lubrifiant; a frottement entre des corps solides, b frottement mixte, c frottement fluide; F_N force, v vitesse

Spécification

- [1] forces de frottement pour une tige et un disque glissant l'un contre l'autre, sollicitation axiale du disque
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement du disque par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] tige fixe en différents matériaux: aluminium, laiton ou acier
- [5] disque rotatif en acier inoxydable trempé et taillé
- [6] charge de la tige par un bras de levier et des poids progressifs
- [7] utilisation de différents lubrifiants comme de l'eau ou de l'huile
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation, et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques

Dispositif de charge

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

Disque

- $\varnothing=50\text{mm}$
- acier inoxydable, trempé, taillé

Tige, Dxh: 4x25mm

- 3x aluminium
- 6x laiton
- 6x acier

Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

Poids

- 1x 5N (suspente)
- 1x 20N
- 1x 10N
- 1x 5N

Lxhx: 350x430x230mm

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 disque
- 1 jeu de tiges
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 260.04

Vibrations à friction



Description

- vibrations à friction (effet slip-stick) lors du passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement
- anneaux de friction en différents matériaux pour l'étude de différentes paires de friction

Le frottement est la résistance d'un corps au mouvement sur un support. Le frottement d'adhérence signifie qu'un corps soumis à une force reste au repos. Lorsqu'un seuil est dépassé, le corps commence à se mouvoir sur le support, ce qui produit un frottement de glissement. Les vibrations à friction auto-générées, ou effets slip-stick, apparaissent lorsque le frottement d'adhérence est nettement supérieur au frottement de glissement.

Le système tribologique du TM 260.04 permet de représenter de manière explicite le passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement, ainsi que l'apparition des vibrations à friction. L'appareil d'essai comprend, comme paire de friction, un disque rotatif en acier inoxydable et un anneau de friction libre en appui.

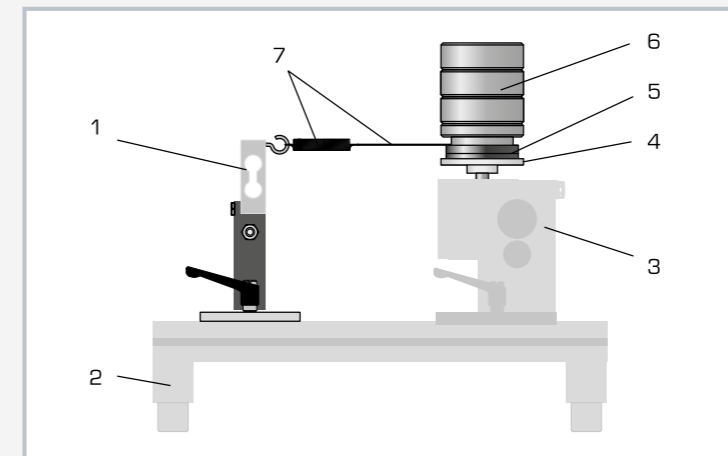
La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par des poids jusqu'à 40N max. Un ressort de traction empêche l'anneau de friction de tourner avec le disque. La force de retenue requise est mesurée par un capteur de force.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement du disque est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

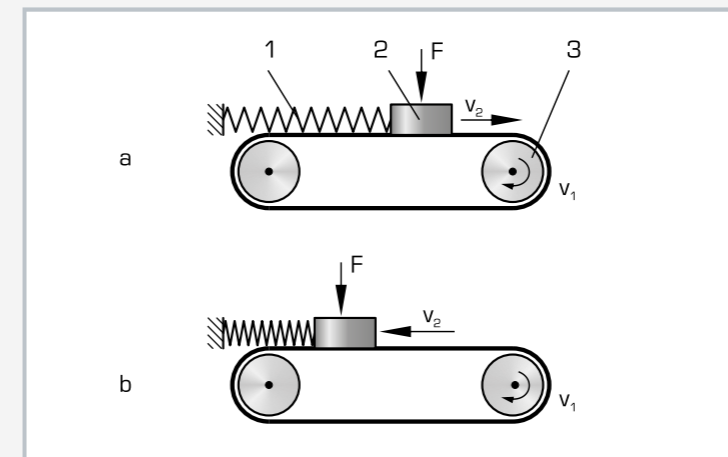
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des anneaux de friction constitués de différents matériaux sont inclus dans la liste de livraison.

Contenu didactique/essais

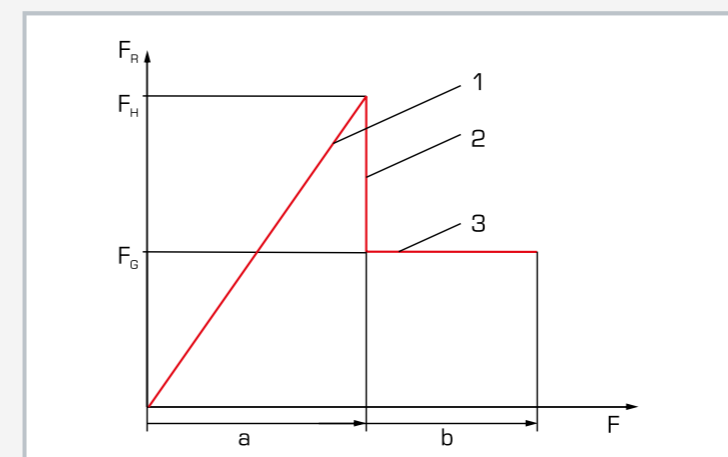
- en association avec l'unité d'entraînement
 - ▶ observation du passage du frottement d'adhérence au frottement de glissement
 - ▶ influence de la lubrification sur la vibration à friction (effets slip-stick)
 - ▶ influence de la force entre les partenaires de friction sur la vibration à friction (effet slip-stick)
 - ▶ influence de la vitesse relative sur la vibration à friction (effet slip-stick)



1 capteur de force, 2 bâti du TM 260, 3 unité d'entraînement du TM 260, 4 disque rotatif, 5 anneau de friction, 6 poids, 7 ressort et câble



Vibration à frictions (effet de slip-stick): 1 ressort, 2 corps, 3 entraînement; F force, v vitesse, a adhérence, b glissement



Force de frottement avec frottement d'adhérence et frottement de glissement: 1 frottement d'adhérence, 2 limite de glissement, 3 frottement de glissement, F_R force de frottement, F force de traction, F_H force d'adhérence, F_G force de glissement, a état de repos, b mouvement

Spécification

- [1] vibrations à friction avec le frottement d'adhérence ou de glissement
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] disque rotatif en acier inoxydable
- [4] entraînement du disque par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] anneau de friction en différents matériaux: acier, laiton ou plastique (PA)
- [6] charge de la paire de friction par des poids progressifs
- [7] mesure de la force de frottement par un capteur de force
- [8] affichage de la force et de la vitesse de rotation ainsi qu'ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques

Disque

- Ø: 60mm
- acier inoxydable

Anneau de friction

- Ø: 80mm
- Ø: 50mm
- 1x acier inoxydable
- 1x laiton
- 1x plastique (PA)

Capteur de force pour la force de frottement

- 0...50N

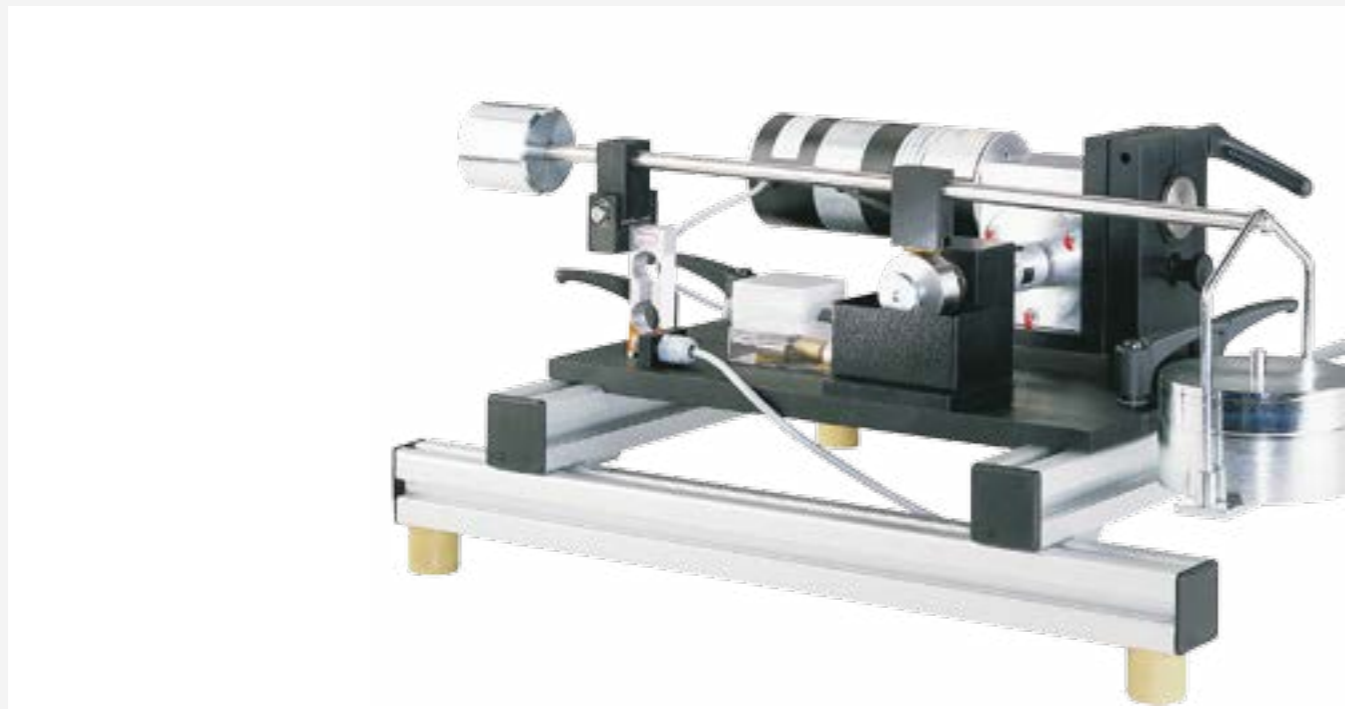
Poids

- 1x 5N
- 3x 10N

Poids: env. 7kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 disque
- 1 anneau de friction
- 1 ressort
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 260.05**Frottement de glissement sur goupille cylindrique - rouleau****Description**

- **force de frottement entre deux paires de friction glissant l'une contre l'autre**
- **étude de l'usure**
- **possibilité d'utiliser différents lubrifiants**

En technique de palier et d'entraînement, des frottements dynamiques apparaissent aux endroits de glissement et de roulement, qui entraînent des pertes de performance des systèmes techniques. Parmi les frottements dynamiques, on distingue le frottement de glissement, de roulement pur, de roulement et de pivotement. Pour le frottement de glissement, on a uniquement un mouvement de translation des deux corps.

Le système tribologique du TM 260.05 permet d'obtenir une représentation claire du frottement de glissement, et d'étudier les forces de frottement. L'appareil d'essai comprend comme paire de friction une tige cylindrique fermement fixée, qui est appuyée radialement contre un rouleau rotatif. Il s'ensuit un contact ponctuel entre les partenaires de friction. La force de serrage entre les deux partenaires de friction peut être ajustée graduellement par un levier jusqu'à 80N max.

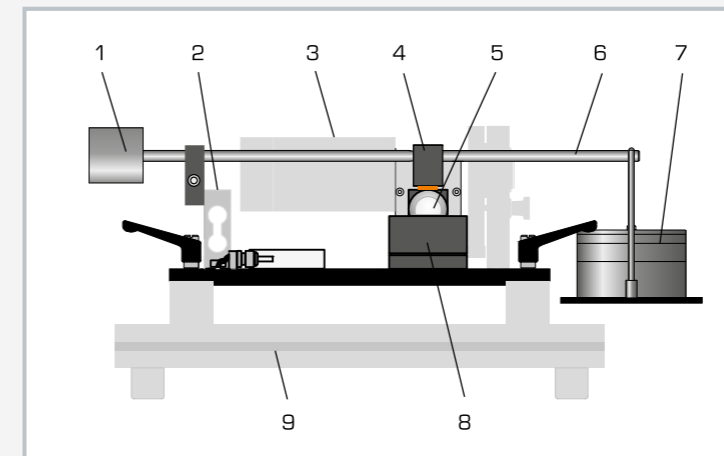
L'appareil d'essai est pourvu d'un réservoir d'alimentation en lubrifiant. Il est possible d'étudier différents états de lubrification tels que le frottement à sec, la lubrification à l'eau ou à l'huile. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des tiges cylindriques constituées de différents matériaux sont incluses dans la liste de livraison.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement du rouleau est assuré par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation, et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

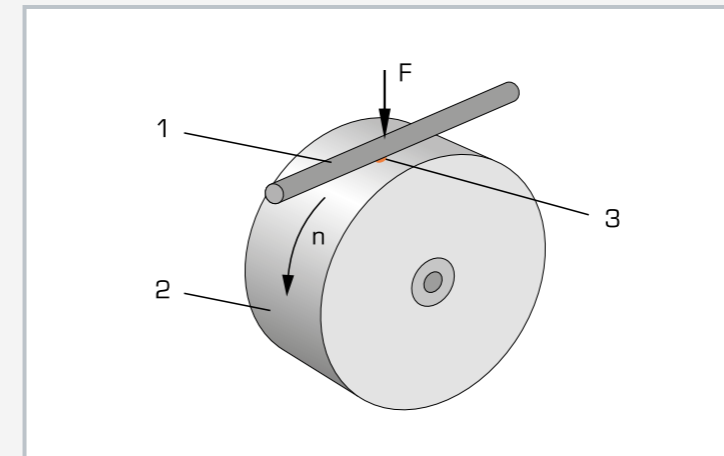
Lors des essais, on peut déterminer la force de frottement ainsi que le coefficient de frottement. Un capteur de force assure la mesure des forces de frottement.

Contenu didactique/essais

- en association avec l'unité d'entraînement
 - ▶ forces de frottement avec différentes paires de friction et charges
 - ▶ forces de frottement avec différentes lubrifications
 - ▶ forces de frottement à différentes vitesses de rotation relatives des partenaires de friction
 - ▶ usure avec différents paramètres de friction



1 contrepoids, 2 capteur de force, 3 unité d'entraînement du TM 260, 4 supports mobiles avec tige cylindrique, 5 rouleau, 6 levier pour dispositif de charge, 7 poids, 8 réservoir de lubrifiant, 9 bâti du module de base TM 260



Système tribologique tige cylindrique et rouleau (contact ponctuel): 1 tige cylindrique fixe comme poids antagoniste, 2 rouleau rotatif comme corps de base, 3 lubrifiant comme matière intermédiaire; F force, n vitesse de rotation

Spécification

- [1] forces de frottement pour une tige cylindrique et un rouleau glissant l'un contre l'autre (contact ponctuel)
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] rouleau rotatif en acier inoxydable trempé et poli
- [4] entraînement du rouleau par un accouplement fixable entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [5] tige cylindrique fixe en différents matériaux: aluminium, laiton ou acier
- [6] charge de la tige cylindrique par un bras de levier et des poids progressifs
- [7] utilisation de différents lubrifiants comme de l'huile ou de l'eau
- [8] mesure de la force de frottement avec un capteur de force
- [9] affichage de la force et de la vitesse de rotation et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques

Dispositif de charge

- charge max.: 80N
- transmission par le bras de levier: 2:1

Rouleau

- Ø=40mm
- acier inoxydable, trempé, poli

Tige cylindrique, Dxh: 10x20mm

- 3x aluminium
- 6x laiton
- 6x acier

Capteur de force pour force de frottement

- 0...50N

Poids

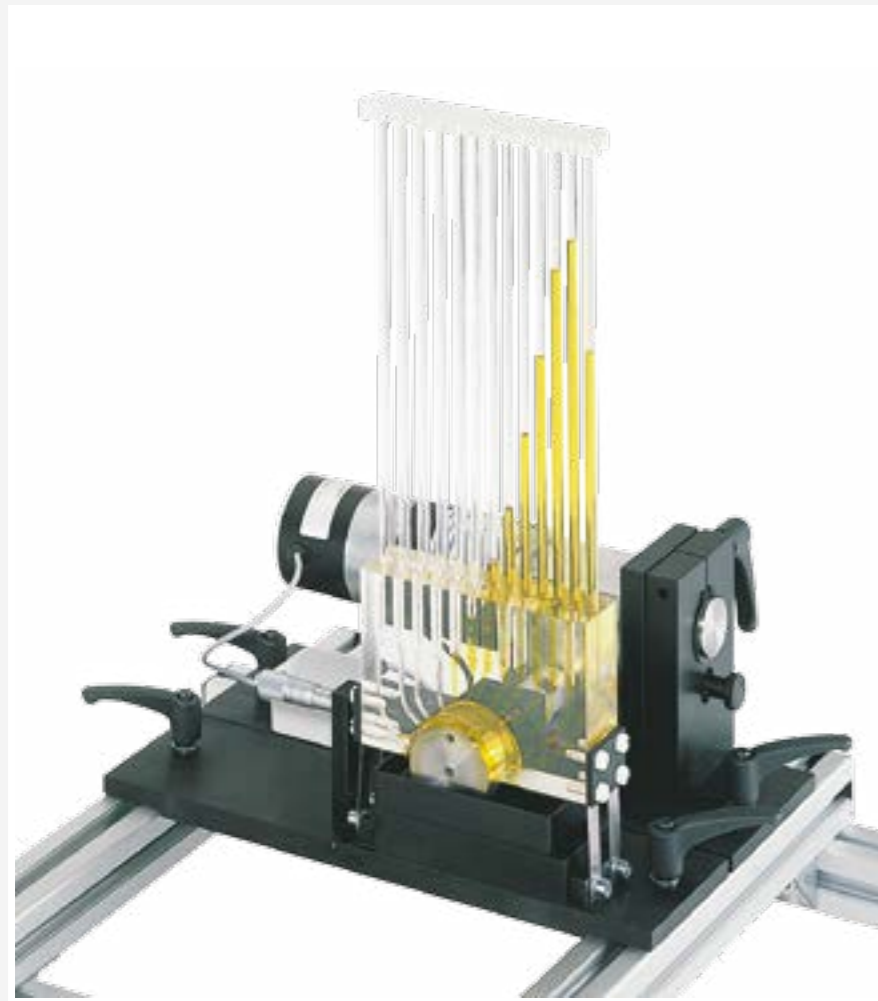
- 1x 5N (suspende)
- 1x 20N
- 1x 10N
- 1x 5N

Lxhx: 570x100x120mm

Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 rouleau
- 1 jeu de tiges cylindriques
- 1 jeu de poids
- 1 documentation didactique

TM 260.06**Répartition de pression dans des paliers lisses****Contenu didactique/essais**

- en association avec l'unité d'entraînement
 - ▶ répartition de pression dans le palier lisse en fonction de la vitesse de rotation
 - ▶ répartition de la pression dans le palier lisse en fonction de la charge ou de la largeur de la fente du palier
 - ▶ limite de stabilité en fonction de la largeur de la fente

Description

- **représentation de la répartition de pression radiale dans un palier lisse avec différentes largeurs de fente du palier**
- **boîtier du palier en plastique transparent**

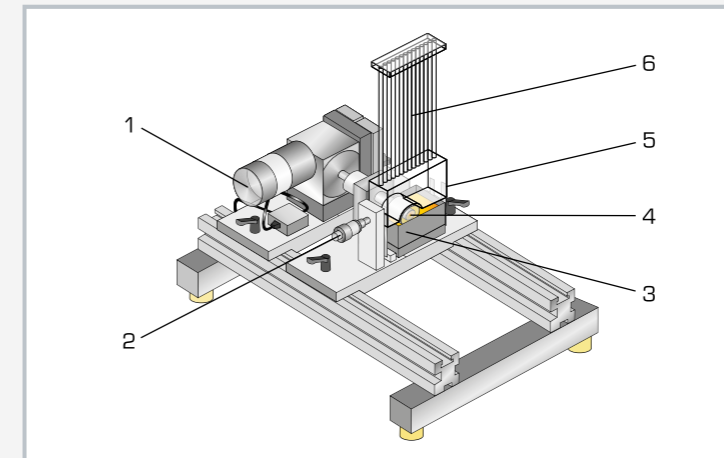
Le domaine de la tribologie porte sur toutes les formes de frottement. Dans le palier lisse ont lieu des frottements solides, liquides et mixtes. En fonctionnement, le frottement est totalement liquide, l'arbre et la coquille du palier sont séparés par un film lubrifiant porteur. La fonction portante du film lubrifiant peut être décrite au moyen de la répartition de pression dans la fente du palier.

L'appareil d'essai TM 260.06 permet de visualiser l'évolution de la pression dans le palier lisse avec une lubrification hydrodynamique. L'appareil d'essai comprend à cet effet un coussinet de palier ouvert qui entoure un arbre seulement

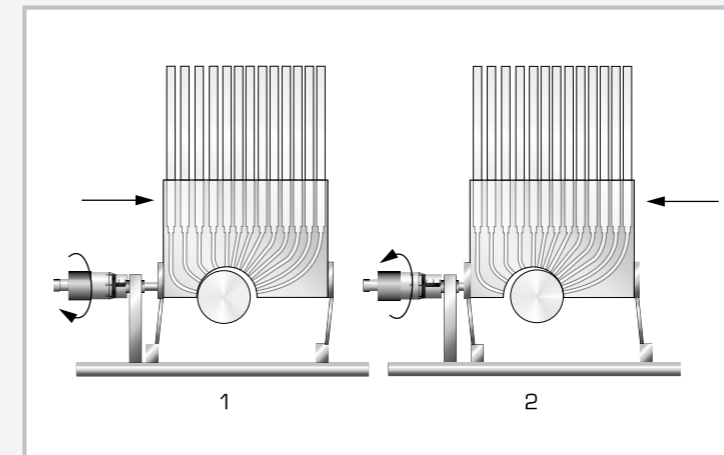
de moitié et simule le palier lisse. Le coussinet de palier est fixé de manière mobile à deux tôles élastiques. À la différence des paliers lisses hydrodynamiques réels, la largeur de fente peut être ajustée par le biais du logement de palier mobile dans la direction radiale à l'aide des tôles élastiques et d'une vis micrométrique.

Pour la réalisation de l'essai, l'unité d'entraînement TM 260 est requise. L'appareil d'essai se monte rapidement et facilement sur le bâti de l'unité grâce à des éléments à serrage rapide. L'entraînement de l'arbre est assuré par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage. L'appareil d'affichage et de commande de l'unité d'entraînement affiche la force de frottement et la vitesse de rotation et permet l'ajustage en continu de la vitesse de rotation.

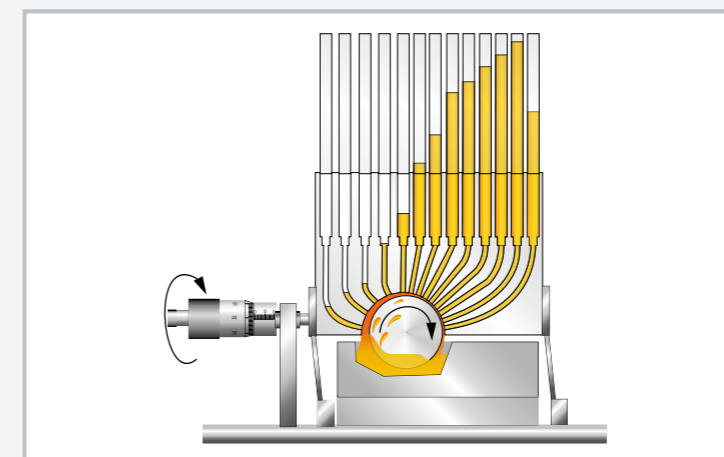
Pour la mesure de pression, 13 points de mesure se trouvent sur le pourtour du coussinet de palier. Les pressions sont lues sur un manomètre à 13 tubes en observant la hauteur de chaque colonne de liquide. L'alimentation en lubrifiant est assurée par un carter d'huile. Le coussinet de palier est transparent, ce qui permet de bien observer l'essai.



1 module de base TM 260, 2 ajustage de la largeur de la fente du palier, 3 carter d'huile, 4 arbre, 5 boîtier du palier avec la coquille du palier, 6 manomètre à tubes



Fonctionnement de l'unité de réglage de la coquille du palier (largeur de la fente du palier): 1 coquille du palier en position droite, 2 coquille du palier en position gauche



Répartition de pression sur une coquille de palier; la pression augmente quand la fente du palier diminue

Spécification

- [1] démonstration et visualisation de la répartition de pression dans un palier lisse avec lubrification hydrodynamique
- [2] montage simple et rapide de l'appareil d'essai sur le bâti de l'unité d'entraînement
- [3] entraînement d'arbre par un accouplement fixe entre l'unité d'entraînement et l'engrenage
- [4] le boîtier du palier est complètement transparent
- [5] boîtier du palier mobile, fente du boîtier ajustable
- [6] 13 points de mesure de pression radiale sur la coquille du palier
- [7] indication de la répartition de pression radiale avec un manomètre à 13 tubes
- [8] affichage de la vitesse de rotation et ajustage de la vitesse de rotation par l'unité d'entraînement

Caractéristiques techniques**Arbre**

- diamètre: 50mm
- longueur: 50mm
- matériau: acier inoxydable

Coquille du palier

- diamètre: 52,5mm
- fente du palier ajustable de: 0...2,5mm

Dispositif de réglage de la coque du palier

- graduation: 0,01mm

Classe de viscosité ISO de l'huile: VG 32

Plages de mesure

- pression: 360mm de colonne d'huile
- vitesse de rotation: 0...200min⁻¹

Lxhx: 350x150x450mm

Poids: env. 4kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 huile (0,5L)
- 1 documentation didactique

TM 232

Frottement dans les paliers



Contenu didactique/essais

- détermination du couple de frottement sur des paliers lisses, avec différentes paires de friction
- détermination du couple de frottement sur un palier à roulement
- comparaison entre paliers lisses / à roulement
- essais de base sur la dynamique de rotation

Description

- **frottement sur les paliers lisses et les paliers à roulement**
- **coussinets de palier interchangeables en différents matériaux**

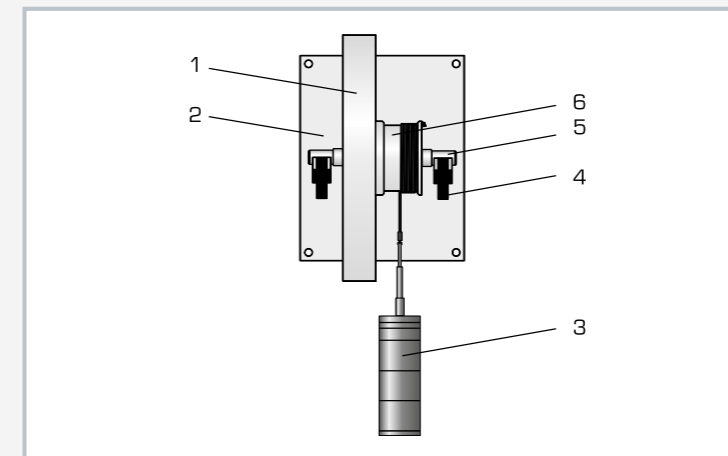
On fait la distinction entre paliers lisses et paliers à roulement, selon la nature de leurs mouvements. Sur le palier lisse, on a un mouvement de glissement entre le palier et le composant monté dessus. Sur le palier à roulement, on a aussi bien des mouvements de glissement que des mouvements de roulement réciproques entre le corps de roulement et le composant monté dessus. Sur les paliers à roulement, les mouvements de glissement, par exemple entre le corps de roulement et la cage, sont des effets secondaires indésirables. Sur le palier à roulement, la force de palier est transmise par l'intermédiaire du rouleau.

Sur les deux types de paliers, le palier lisse et le palier à roulement, des forces de frottement apparaissent lors du fonctionnement, qui opposent une résistance au mouvement.

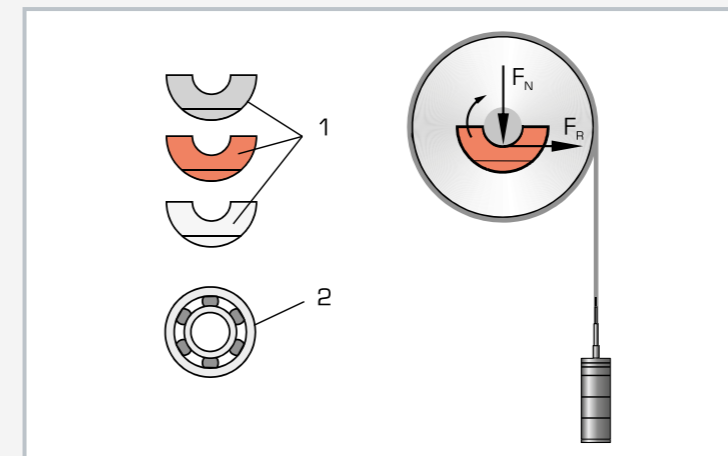
L'appareil d'essai TM 232 permet d'étudier le frottement sur des paliers lisses avec différents coussinets de palier, ainsi que sur des paliers à roulement. Un arbre monté sur palier avec un tambour de câbles et un volant d'inertie se trouve sur une plaque de base. Les forces d'appui sont générées par le poids propre du lourd volant d'inertie. Un couple est appliqué à l'aide de poids; au début du mouvement rotatif, il correspond au couple de frottement. Des coussinets de palier interchangeables servent de paliers lisses.

Les coefficients de frottement sont déterminés par des essais. Pour permettre l'étude de différentes paires de friction, des coussinets de palier constitués de différents matériaux sont inclus dans la liste de livraison. Lorsque l'on utilise des paliers à roulement, les frottements de palier sont très faibles. Dans ce cas, le volant moteur peut être utilisé pour la réalisation d'essais de base de la dynamique de rotation.

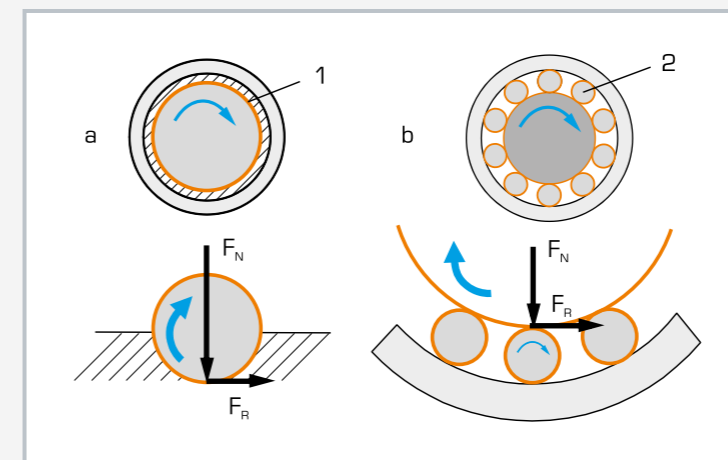
L'appareil d'essai est conçu pour être fixé au mur. Les pièces de l'essai sont disposées de manière claire, et bien protégées dans un système de rangement.



1 volant d'inertie, 2 plaque, 3 poids, 4 logement de palier, 5 arbre, 6 tambour de câbles



1 coussinets de palier interchangeables en fonte grise, bronze et plastique (PTFE), 2 palier à roulement; F_N force normale, F_R force de frottement



a frottement de glissement sur le palier lisse, 1 surface de glissement b frottement de glissement et frottement de roulement pur sur le palier à roulement, 2 corps de roulement; F_N force normale, F_R force de frottement

Spécification

- [1] comparaison entre frottement lisse et frottement de roulement
- [2] essais possibles sur la dynamique de rotation
- [3] coussinets de palier en différents matériaux comme paliers lisses
- [4] volant d'inertie en acier, galvanisé
- [5] entraînement par tambour de câbles et poids
- [6] système de rangement pour les pièces
- [7] support pour montage mural

Caractéristiques techniques

Coussinets de palier comme paliers lisses, demi-coussinets

- GG-25
- bronze
- PTFE (téflon)

Roulements rainurés à billes

- type 6203

Tourillons de palier de l'arbre

- $\varnothing=17\text{mm}$

Volant d'inertie

- $\varnothing=300\text{mm}$
- poids: 22,2kg

Poids

- 1x 1N (suspendu)
- 5x 1N
- 1x 2N
- 3x 5N

Plaque de base

- Lx: 250x200mm

Lxlxh: 200x330x300mm

Poids: env. 30kg

Lxlxh: 290x140x130mm (système de rangement)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 6 coussinets de palier
- 2 paliers à roulement
- 1 jeu de poids
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

TM 282

Frottement dans des paliers lisses



Description

- principes de base de la lubrification hydrodynamique
- états de frottement avec différents états de fonctionnement
- régulation électronique de la vitesse de rotation, et affichage numérique de la vitesse de rotation et de la température du lubrifiant

Les facteurs d'influence sur les états de frottement dans le palier lisse hydrodynamique sont très variés. Les principaux sont la vitesse de rotation, la charge et la viscosité du lubrifiant utilisé.

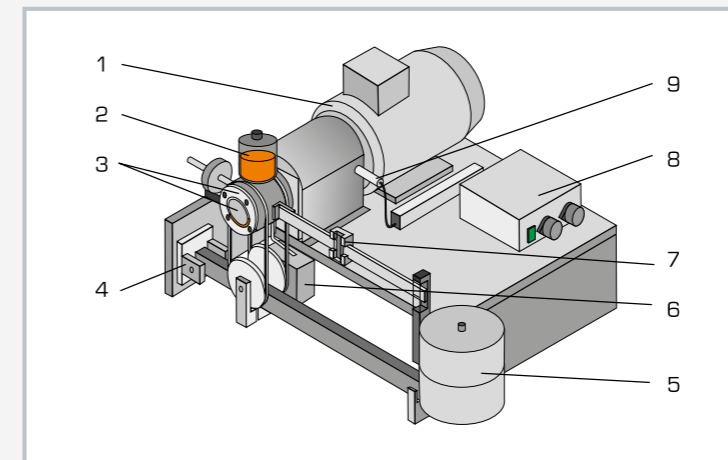
Le TM 282 permet d'étudier différents facteurs d'influence sur le frottement.

Le palier lisse est constitué d'un tourillon d'arbre à entraînement électrique qui tourne dans un logement de palier mobile. On peut y observer le mouvement de l'huile dans le palier.

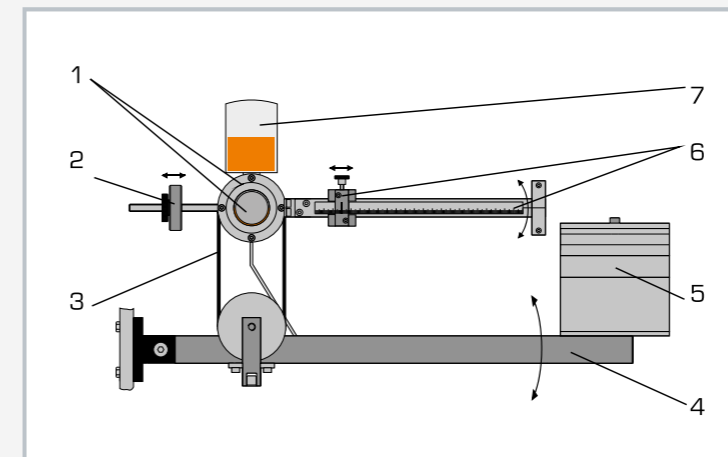
La charge présente est transmise au logement de palier par un dispositif de charge, et peut être variée par des poids. Le couple de frottement est déterminé par un poids mobile qui équilibre le couple s'exerçant sur une poutre horizontale. Le tourillon d'arbre est entraîné par un moteur électrique; la vitesse de rotation peut être ajustée au moyen d'un convertisseur de fréquence. La température, et donc la viscosité du lubrifiant, sont enregistrées par un capteur de température dans le coussinet de palier, et affichées sur l'appareil d'affichage et de commande. L'alimentation en lubrifiant est assurée par un graisseur à mèche, qui achemine via deux rainures l'huile jusqu'au coussinet de palier. L'huile de fuite est recueillie par un réservoir collecteur.

Contenu didactique/essais

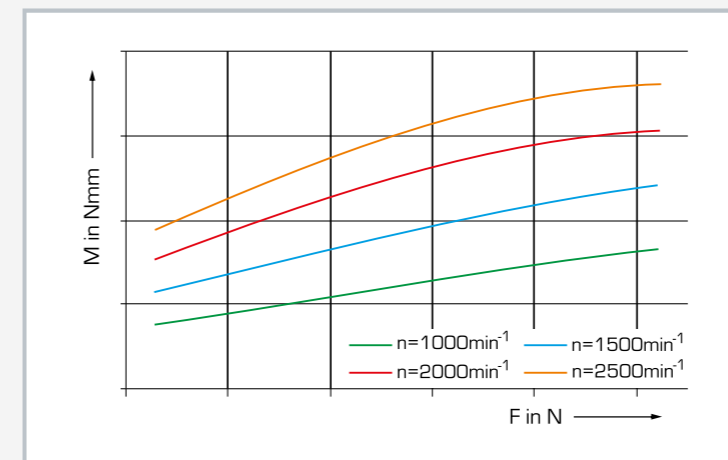
- assimilation des principes technologiques de la lubrification hydrodynamique à travers des essais
- couple de frottement dans un palier lisse hydrodynamique en fonction de
 - ▶ la vitesse de rotation
 - ▶ la charge du palier
 - ▶ le type et la température du lubrifiant



1 moteur, 2 graisseur compte-gouttes, 3 logement de palier lisse avec tourillon d'arbre, 4 palier fixe pour levier de charge, 5 poids, 6 réservoir pour l'huile de fuite, 7 poids coulissant pour la mesure du couple de frottement, 8 coffret de commande, 9 capteur de vitesse de rotation



1 logement de palier lisse avec tourillon d'arbre, 2 tare, 3 courroie pour la transmission de la force en direction du logement de palier, 4 levier de charge, 5 poids, 6 levier de mesure avec échelle et poids coulissant mobile, 7 graisseur compte-gouttes



Influence de la force de charge F et de la vitesse de rotation n sur le couple de frottement M

Spécification

- [1] étude et visualisation du palier hydrodynamique
- [2] palier lisse radial avec tourillon d'arbre en acier inoxydable et coussinets de palier mobiles en bronze
- [3] lubrification compte-gouttes pour l'alimentation en continu en lubrifiant (graisseur compte-gouttes)
- [4] charge du palier lisse via un levier mécanique
- [5] vitesse de rotation variable au moyen d'un convertisseur de fréquence
- [6] mesure du couple de frottement à l'aide d'un levier avec poids coulissant
- [7] mesure inductive de la vitesse de rotation
- [8] thermocouple dans le logement du palier pour la mesure de la température de l'huile
- [9] appareil d'affichage et de commande pour la température de l'huile et la vitesse de rotation

Caractéristiques techniques

Palier lisse

- diamètre de l'arbre: $\varnothing = 30 \text{ mm}$
- largeur du palier: 45 mm
- paire de friction: acier/bronze

Moteur: 0,37 kW

Classe de viscosité de l'huile: ISO VG 32

Poids

- 1x 50N, 1x 20N, 2x 10N, 2x 5N, 2x 5N
- transmission par le bras de levier: 5:1

Plages de mesure

- température: $-50 \dots 200^\circ \text{C}$
- vitesse de rotation: $100 \dots 3000 \text{ min}^{-1}$
- charge du palier: max. 525 N
- couple de frottement: max. 295 Nm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 610x440x360 mm [appareil d'essai]

Lxlxh: 360x340x160 mm [appareil d'affichage et de commande]

Poids: env. 40 kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu de poids
- 1 huile (0,5L)
- 1 documentation didactique

TM 280

Répartition de pression dans des paliers lisses



Contenu didactique/essais

- étude et visualisation de l'instabilité sur des paliers lisses
- déplacement du tourillon d'arbre en fonction de la vitesse de rotation
- répartition de pression dans le palier à charge constante et à différentes vitesses de rotation
- vitesse de rotation critique en fonction de la charge
- vitesse de rotation critique en fonction de la température de l'huile

Description

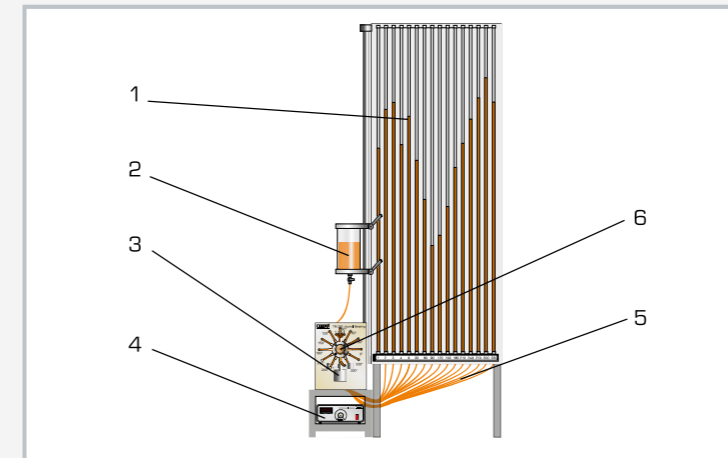
- **observation optimale du fonctionnement grâce au logement de palier transparent**
- **représentation claire de la répartition de pression dans le palier lisse**
- **étude et visualisation de l'instabilité sur des paliers lisses**

Sur les paliers lisses hydrodynamiques, le palier et le coussinet de palier sont séparés l'un de l'autre par un film lubrifiant pendant le fonctionnement. On peut décrire la fonction porteuse du film lubrifiant dans le palier lisse, en se servant de la répartition de pression dans la fente de palier.

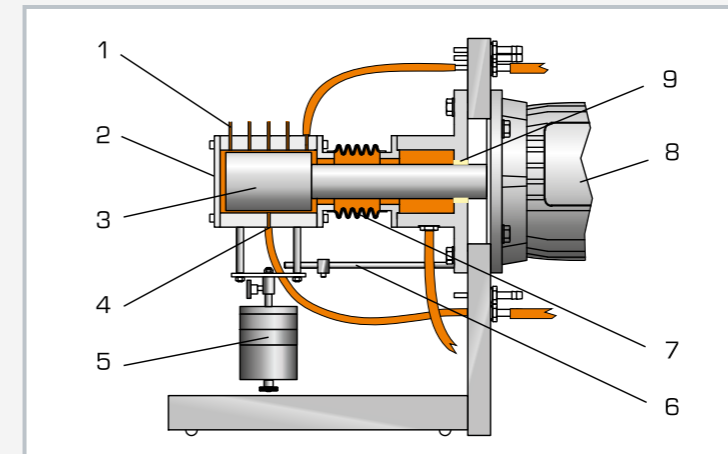
Le TM 280 permet de visualiser l'évolution de la pression dans le palier lisse, avec une lubrification hydrodynamique. À cet effet, le coussinet de palier comporte douze points de mesure sur le pourtour, et quatre dans le sens de la longueur. Les pressions respectives sont indiquées par la hauteur de la colonne de liquide d'un manomètre à 16 tubes.

Le palier lisse est constitué d'un tourillon d'arbre à entraînement électrique, qui tourne dans un logement de palier mobile. On utilise de l'huile comme lubrifiant.

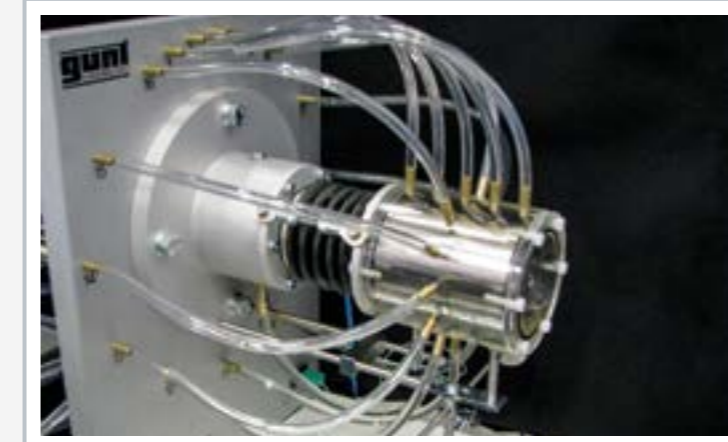
On peut observer, à travers le logement de palier transparent, le déplacement du tourillon d'arbre en fonction de la vitesse de rotation et du sens de rotation, ainsi que le comportement caractéristique au démarrage. La vitesse et le sens de rotation sont ajustables. On peut ajuster la charge du palier lisse en variant les poids. Pour déterminer la viscosité du lubrifiant, une mesure de la température a lieu dans la fente de palier.



1 manomètre à tubes, 2 réservoir d'huile, 3 poids, 4 appareil d'affichage et de commande pour la régulation de la vitesse de rotation, 5 tuyaux de mesure, 6 palier lisse avec entraînement



1 points de mesure, 2 logement de palier transparent, 3 tourillon, 4 point de mesure, 5 poids, 6 sécurité anti-torsion, 7 soufflet, 8 moteur d'entraînement, 9 joint torique radial



Vue détaillée de l'unité de palier lisse TM 280

Spécification

- [1] visualisation et étude de la répartition de pression dans les paliers lisses
- [2] le logement de palier est complètement transparent
- [3] vitesse de rotation ajustable en continu, régulation électronique
- [4] charge du palier au moyen de poids
- [5] mesure de la température dans le logement de palier
- [6] 12 points de mesure sur le pourtour, 4 points de mesure dans le sens de la longueur
- [7] affichage de la répartition de pression avec un manomètre à 16 tubes
- [8] affichage numérique de la vitesse de rotation sur l'appareil d'affichage et de commande

Caractéristiques techniques

Palier

- diamètre nominal du palier: 51mm
- largeur de la fente de palier: 4mm
- largeur du palier: 75mm
- charge sur le palier: 6,7...16,7N

Moteur

- puissance: 0,37kW
- vitesse de rotation max.: 3000min⁻¹

Classe de viscosité ISO de l'huile: VG 32

Réservoir d'huile: 2,5L

Poids

- 1x 1N [suspente]
- 2x 2N
- 1x 5N

Plages de mesure

- pression: 1770mm de colonne d'huile, 16x
- température: -10...50°C
- vitesse de rotation: 0...3000min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlh: 1100x750x2650mm

Poids: env. 110kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 jeu d'outils
- 1 jeu de poids
- 1 huile hydraulique (5L)
- 1 appareil de mesure manuelle de la température
- 1 documentation didactique

TM 290

Palier lisse avec lubrification hydrodynamique

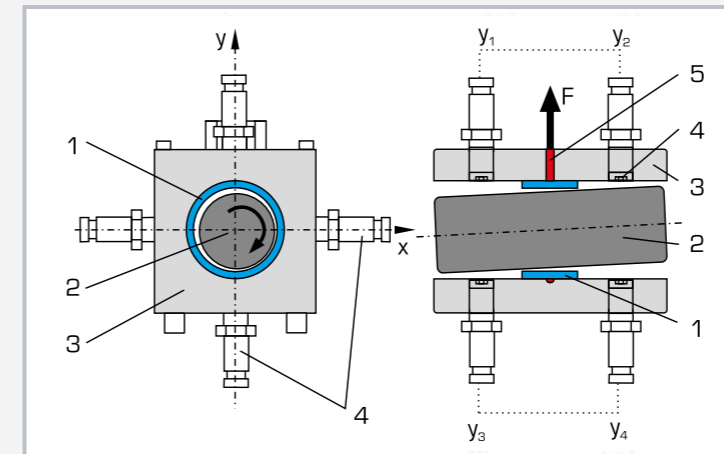


Contenu didactique/essais

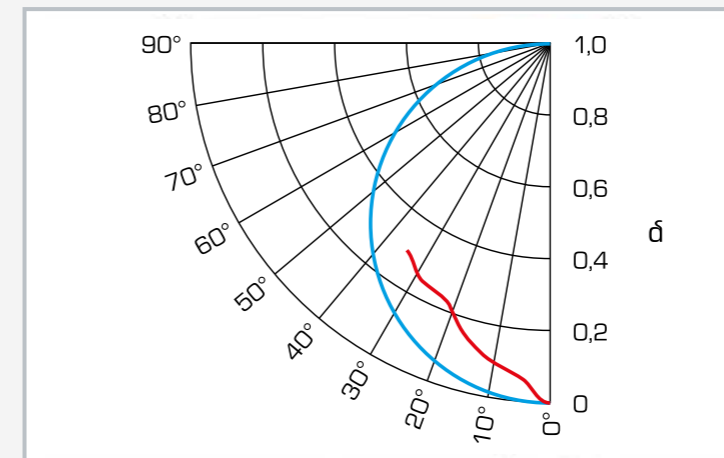
- détermination des coefficients de frottement avec des charges et des vitesses de rotation différentes, comparaison des courbes de Stribeck
- influence de la vitesse de rotation, du jeu de palier et de la charge du palier sur le déplacement de l'arbre
- influence de la vitesse de rotation, du jeu de palier, de la charge du palier et du lubrifiant sur le couple de frottement
- lieu géométrique de l'arbre



1 roue à main pour charge, 2 capteur de force pour couple de frottement, 3 capteurs de déplacement inductifs, 4 arbre, 5 logement de palier, 6 éléments d'affichage et de commande



Vues en coupe du palier lisse: 1 coussinet de palier, 2 arbre, 3 logement de palier, 4 capteurs de déplacement (4 dans la direction X, 4 dans la direction Y), 5 alimentation en huile; F charge



Mouvement du point central de l'arbre durant le service ou comportement au démarrage, en bleu: courbe théorique en demi-cercle, en rouge: résultats de mesure du TM 290; δ épaisseur relative du film lubrifiant

Spécification

- [1] états de frottement dans un palier lisse lubrifié hydrodynamique
- [2] 5 arbres de différents diamètres pour essais avec différents jeux de palier
- [3] entraînement de l'arbre par un moteur triphasé avec convertisseur de fréquence pour l'ajustage en continu de la vitesse de rotation
- [4] régulateur pour ajuster la température d'huile
- [5] charge radiale du palier par ressort de compression et broche filetée avec roue à main, et mesure par un capteur de force
- [6] détermination du couple de frottement par un bras de levier avec capteur de force
- [7] 8 capteurs de déplacement inductifs pour la mesure du déplacement de l'arbre
- [8] affichages numériques de la charge radiale, du couple de frottement, de la position de l'arbre (directions X et Y), pression de l'huile, pic de pression de l'huile, température de l'huile et vitesse de rotation
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Palier lisse

- diamètre nominal de l'arbre: 50mm
 - charge radiale: 0...1000N
 - jeu de palier: 0,12mm; 0,14mm; 0,16mm; 0,18mm; 0,28mm
- Moteur d'entraînement avec convertisseur de fréquence
- puissance: 0,55kW
 - vitesse de rotation: 0...1600min⁻¹
- Groupe hydraulique pour ajuster la pression d'huile
- débit de refoulement: 1,4L/min, pression: 2bar
 - capacité du réservoir: 10L

Plages de mesure

- couple de frottement: 0...1Nm
- charge radiale: 0...1000N
- déplacement dans la direction X/Y: $\pm 1,000$ mm
- pression d'huile (alimentation): 0...10bar
- pression d'huile (palier lisse): 0...60bar
- température d'huile: 0...100°C
- vitesse de rotation: 0...1600min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxhx: 1200x800x1450mm
Poids: env. 225kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 huile (5L)
- 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Description

- couple de frottement avec différents jeux de palier et charges
- répartition de pression dans le palier lisse
- lieu géométrique de l'arbre à différentes charges et vitesses de rotation

Sur les paliers hydrodynamiques, le palier et le coussinet de palier sont séparés l'un de l'autre par un film lubrifiant porteur pendant le fonctionnement. Sur un palier lisse hydrodynamique, la pression dans le film lubrifiant est générée par le mouvement relatif entre le coussinet de palier et l'arbre. Pour évaluer les processus tribologiques dans le coussinet d'un palier lisse, la position de l'arbre en fonction de la vitesse de rotation et de la charge est importante.

Le banc d'essai TM 290 permet d'étudier le comportement d'un palier lisse radial avec lubrification hydrodynamique. Cinq arbres de différents diamètres permettent d'évaluer le comportement en service en fonction du jeu de palier.

La charge radiale du palier lisse est appliquée par une roue à main et mesurée électroniquement. De même, le couple de frottement est mesuré à l'aide d'un capteur de force. L'entraînement de l'arbre par un convertisseur de fréquence, et est affichée numériquement. La température de l'huile est ajustée à l'aide d'un régulateur.

Des capteurs de déplacement inductifs mesurent le mouvement relatif de l'arbre dans le palier. Cette mesure permet d'enregistrer le lieu géométrique de l'arbre, en fonction de la charge et de la vitesse de rotation. La position est mesurée respectivement à quatre points de l'arbre dans les directions X et Y, puis la moyenne est affichée.

La température de l'huile, la pression de l'huile et le pic de pression de l'huile dans le palier sont enregistrés et affichés par d'autres capteurs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

CE 105

Corrosion de métaux



Description

- base de la corrosion et de la protection des matériaux métalliques contre la corrosion
- corrosion provoquée par l'oxygène
- corrosion électrochimique (éléments locaux)
- protection contre la corrosion avec tension extérieure et anodes sacrificées

La corrosion des composants métalliques entraîne d'importants dommages économiques et techniques. Par conséquent, le thème de la corrosion et de la protection contre la corrosion joue un rôle important dans la formation technique.

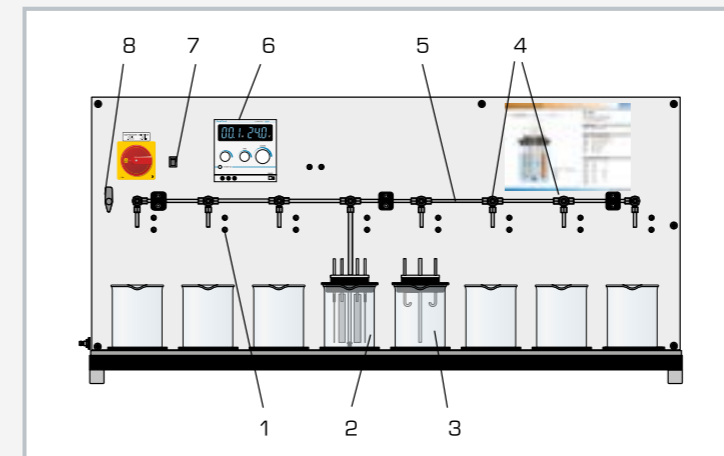
CE 105 permet d'étudier en parallèle une multitude de facteurs concernant la corrosion. Huit réservoirs en verre sont mis à disposition. Ils permettent la comparaison de différents matériaux dans des conditions différentes. Le réservoir est rempli avec la solution électrolytique souhaitée. Six éprouvettes au maximum peuvent être fixées aux couvercles du réservoir et plongent dans la solution.

Il est possible de relier les éprouvettes à un conducteur électrique afin d'étudier des éléments locaux et le principe des anodes sacrificées. Un appareil d'alimentation ajustable permet d'appliquer une tension extérieure. Cette tension s'oppose au flux de courant entre le métal noble et le métal commun des éléments locaux. Le taux de corrosion du métal commun est ainsi abaissé.

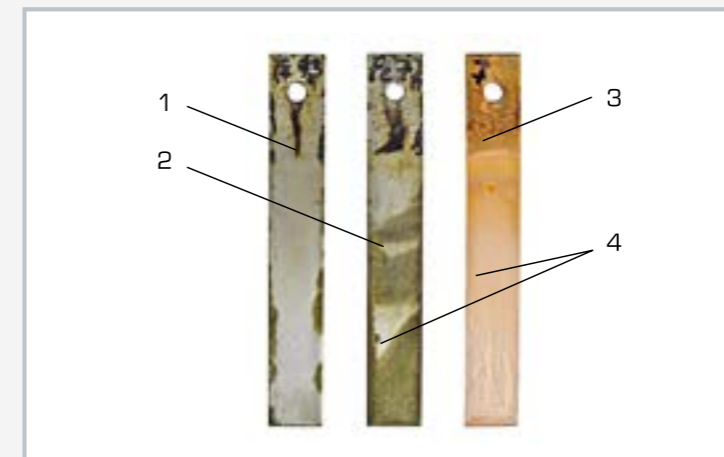
Si demandé, une pompe à diaphragme amène l'air ambiant dans la solution électrolytique. Des soupapes d'étranglement permettent de régler le débit de gaz séparément pour chaque réservoir. Il est également possible d'introduire d'autres gaz prévus en laboratoire dans la solution électrolytique. Un appareil de mesure de pH est compris dans la liste de livraison pour permettre l'étude et la comparaison de l'influence de la solution électrolytique sur la corrosion.

Contenu didactique/essais

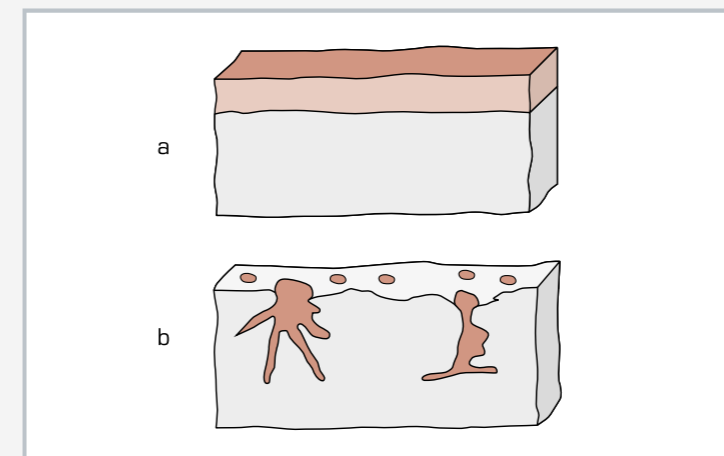
- comportement à la corrosion de différents matériaux métalliques (rouille / passivation)
- formation d'éléments locaux
- influence du pH de la solution électrolytique
- influence de la concentration saline dans la solution électrolytique
- corrosion provoquée par l'oxygène
- protection contre la corrosion
 - ▶ tension extérieure
 - ▶ anodes sacrificées
 - ▶ revêtements de protection



1 prise de raccordement électrique, 2 réservoir d'électrolyte avec éprouvettes et porte-éprouvettes (pinces), 3 réservoir d'électrolyte avec porte-éprouvettes (crochets), 4 soupapes d'étranglement, 5 arrivée de gaz, 6 bloc secteur, 7 interrupteur de la pompe à diaphragme, 8 soupape d'inversion air / arrivée de gaz externe



Résultat de l'essai: une tension extérieure a été branchée sur une éprouvette en acier (2) et une éprouvette en cuivre (3) reliés électriquement (4). Une éprouvette en acier (1) sans liaison électrique sert de référence.



2 types de corrosion: a corrosion de surface, b corrosion par piqûre

Spécification

- [1] étude de la corrosion et des mesures de protection contre la corrosion
- [2] 8 réservoirs d'électrolyte avec couvercle et 6 porte-éprouvettes
- [3] un bloc secteur ajustable pour l'application de la tension extérieure
- [4] arrivée d'air via la pompe à diaphragme
- [5] soupape d'inversion pour air ou arrivée de gaz externe
- [6] ajustage des débits de gaz pour chaque réservoir à l'aide de soupapes d'étranglement
- [7] acquisition du pH des solutions électrolytiques avec appareil portable
- [8] plage de pression pour l'arrivée de gaz extérieur: 0,2...1,0bar

Caractéristiques techniques

Réservoir d'électrolyte
 ■ capacité: 1000mL
 ■ matériau: verre

Bloc secteur
 ■ tension: 0...30VDC
 ■ intensité du courant: 0...5A

Pompe à diaphragme: env. 260L/h

Appareil de mesure de pH
 ■ plage de mesure: 0...14pH
 ■ résolution: 0,01pH

Éprouvettes
 ■ 6x acier inoxydable, 6x acier, 6x laiton, 6x aluminium
 ■ 3x verre
 ■ dimensions: 100x15x1mm

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 Lxlxh: 1280x460x630mm (appareil d'essai)
 Poids: env. 55kg
 Lxlxh: 730x480x240mm (système de rangement)
 Poids: env. 15kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 appareil de mesure de pH
- 1 jeu d'éprouvettes
- 1 jeu de câbles de laboratoire
- 1 raccord pour l'arrivée de gaz extérieur
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

Le programme complet gunt – équipements pour l'enseignement technique



Mécanique appliquée et conception mécanique

- Statique
- Résistance des matériaux
- Dynamique
- Dynamique des machines
- Conception mécanique
- Essai des matériaux



Mécatronique

- Dessin industriel
- Modèles en coupe
- Métrologie
- Technique d'assemblage et d'ajustage
- Techniques de production
- Kits d'assemblage
- Maintenance
- Diagnostic de machines
- Automatisation et conduit de procédés



Génie thermique et énergie, génie frigorifique et technique de bâtiment (CVCS)

- Principes de base de la thermodynamique
- Applications thermodynamiques
- Énergies renouvelables
- Machines motrices et machines réceptrices
- Moteurs à combustion interne
- Génie frigorifique et génie climatique
- Systèmes domestiques de chauffage et de ventilation
- Technique sanitaire



Mécanique des fluides

- Écoulement stationnaire
- Écoulement non stationnaire
- Écoulements autour de corps
- Machines à fluide
- Éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- Génie hydraulique



Génie de procédés

- Génie des procédés mécaniques
- Génie des procédés thermiques
- Génie des procédés chimiques
- Génie des procédés biologiques
- Traitement de l'eau



2E Energy & environment

- Energy**
- Énergie solaire
 - Énergie hydraulique et énergie marine
 - Énergie éolienne
 - Biomasse
 - Géothermie
 - Systèmes énergétiques
 - Efficacité énergétique en génie du bâtiment

- Environment**
- Eau
 - Air
 - Sol
 - Déchets

Planification et conseils · Service technique
Mise en service et formation

Index

Mot-clé	Code (page)
A	
absorbeur de vibrations	TM 182 (210)
accouplement à denture	PT 500.13 (238)
Ackermann, théorie d'	KI 160 (151)
alignement, erreur d'	PT 500 (224) PT 500.10 (232) PT 500.13 (238)
aligner	MT 172 (308) PT 500 (224)
analyse d'ordre	PT 500.16 (244) PT 501 (220)
analyse d'enveloppe	PT 500.12 (236) PT 500.16 (244) PT 501 (220)
analyse des contraintes	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
analyse FFT	PT 500.04 (228)
analyses des dommages	PT 500 (224)
angle d'enroulement	GL 410 (288) TM 220 (74/286)
angle de braquage	KI 160 (151)
angle de calage des manivelles	TM 180 (206)
angle de flexion (joint de Cardan)	KI 150 (150)
angle de torsion	SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
arbre avec fissure	PT 500 (224) PT 500.11 (234)
arbre de joint de Cardan	KI 150 (150)
arbre élastique	PT 500.10 (232)
arbre fissuré	PT 500.11 (234)
arbre rigide	PT 500 (224)
arc	SE 110.16 (52)
arc à trois articulations	SE 110.17 (50)
arc asymétrique	SE 110.17 (50)
arc parabolique	SE 110.16 (52)
arc symétrique	SE 110.17 (50)
assemblage par vis et rondelles	TM 320 (277)
auto-centrage	TM 620 (196) TM 625 (198)
angle de flexion (joint de Cardan)	KI 150 (150)
angle de torsion	SE 110.29 (88) WP 100 (90) WP 500 (344) WP 510 (346)
arbre avec fissure	PT 500 (224) PT 500.11 (234)
arbre de joint de Cardan	KI 150 (150)
arbre élastique	PT 500.10 (232)
arbre fissuré	PT 500.11 (234)
arbre rigide	PT 500 (224)
arc	SE 110.16 (52)
arc à trois articulations	SE 110.17 (50)
arc asymétrique	SE 110.17 (50)
arc parabolique	SE 110.16 (52)
arc symétrique	SE 110.17 (50)
assemblage par vis et rondelles	TM 320 (277)
auto-centrage	TM 620 (196) TM 625 (198)
B	
balourd	PT 500 (224)
balourd dynamique	PT 500 (224)
balourd général	PT 502 (204) TM 170 (202)
balourd statique	PT 500 (224)
barres de compression avec différents types d'appui	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
barres de compression chargées excentriquement	WP 120 (110)
barres inactives	SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96)
bâti en S	SE 110.20 (92)
bâti en U	SE 110.20 (92)
battement axial	PT 500.13 (238)
battement radial	PT 500.13 (238) PT 500.14 (240)
Bernoulli, hypothèses de bielle double	FL 160 (114) KI 130 (148)

Mot-clé	Code (page)
C	
blocage automatique	TM 124 (283)
boîte de vitesse	GL 430 (292)
bras de grue	TM 115 (21)
Brinell	MT 190 (310) WP 300 (332) WP 310 (334)
bruit de roulement	MT 110.02 (306) PT 500.12 (236) PT 500.14 (240) PT 501 (220)
C	
câble soumis à une charge linéaire constante	SE 110.18 (46)
câble soumis à une charge ponctuelle	SE 110.50 (34)
câble soumis au poids propre	SE 110.50 (34)
came	GL 110 (281)
caractéristique de ressort	WP 300 (332)
Cardan, erreur de	KI 150 (150)
Castigliano	SE 110.44 (96)
cavitation dans les pompes	PT 500.17 (246)
centre d'inertie	TM 161 (172)
centre de cisaillement	FL 160 (114)
centre de gravité du corps	TM 161 (172)
cercle de Mohr des contraintes	FL 130 (132) FL 140 (134) FL 200 (136) FL 210 (138) WP 130 (116)
cercle de Mohr des déformations	FL 120 (130) FL 130 (132)
chaise palier	GL 300.12 (269)
charge combinée	FL 160 (114)
charge linéaire	SE 110.12 (48) SE 110.16 (52) SE 110.17 (50) SE 110.18 (46)
charge mobile	SE 110.12 (48) SE 110.17 (50) SE 110.18 (46)
charge multiaxiale	FL 160 (114) WP 130 (116)
Charpy, essai de résilience	WP 400 (340) WP 410 (342)
cisaillement, centre de	FL 160 (114)
cisaillement, contrainte de	FL 160 (114) SE 110.29 (88)
cisaillement, essai de	WP 300 (332) WP 310 (334)
cisaillement, module de	SE 110.29 (88)
coefficient de frottement	TM 110.01 (18) TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 232 (368) TM 260.01 (356) TM 260.03 (360) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364) TM 290 (374) TM 310 (278)
coefficient de Poisson	FL 130 (132)
coefficients d'influence	WP 950 (84)
commande à came	GL 110 (281) GL 112 (208)
commande à réglage mécanique, modèle en coupe	GL 300.07 (269)
commande par poulies à gradins	GL 300.06 (269) GL 430 (292)
comportement de rupture	WP 400 (340) WP 410 (342)
composition de forces	TM 110 (116) TM 115 (21)
condition de Grashof	KI 130 (148)
conditions d'équilibre de la statique	SE 110.53 (24)
contrainte axiale	FL 130 (132) FL 140 (134)
contrainte de cisaillement	FL 160 (114) SE 110.29 (88)
contrainte de flambement	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
contrainte de flambement d'Euler	WP 120 (110) WP 121 (108)
contrainte en flexions alternées	WP 140 (348)
contrainte normale	FL 140 (134) WP 130 (116)
contrainte principale	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
contrainte radiale	FL 120 (130) FL 140 (134)
contrainte tangentielle	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
Coriolis, force de	TM 605 (166)
corrélation entre détérioration et bruit de roulement	PT 500.12 (236) PT 501 (220)

Mot-clé	Code (page)
D	
corrosion	CE 105 (376)
cotation	MT 110.02 (306) MT 152 (304) TZ 200.02 (262) TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
couple de serrage des vis	TM 320 (277)
couple initial de décrochement de vis	TM 320 (277)
courbe d'accélération	PT 500.04 (228) PT 501 (220)
courbe de contrainte, poutre de flexion	SE 110.48 (338)
courbe de décharge, poutre en flexion	SE 110.48 (338)
courbe de flexion élastique	FL 160 (114) SE 110.14 (82) SE 110.20 (92) SE 110.44 (96) SE 110.47 (86) WP 950 (84) WP 962 (33)
courbe de levée de mécanismes à cames	GL 110 (281) GL 112 (208)
courbe de phase	TM 150 (178) TM 155 (188)
courbe de Stribeck	TM 290 (374)
courbe des efforts tranchants	WP 960 (30) WP 961 (32)
courbe des efforts tranchants et courbe des moments de flexion	SE 110.12 (48) SE 110.20 (92) SE 110.47 (86) WP 960 (30)
courbe des moments de flexion	WP 960 (30) WP 962 (33)
courroie d'entraînement	TM 170 (202) TM 220 (74/286)
courroie plate	TM 220 (74/286)
courroie trapézoïdale	PT 500.14 (240) TM 220 (74/286)
Cremona, épure de	SE 130 (42) SE 130.01 (44)
D	
décomposition des forces	FL 111 (22) TM 110 (116) TM 115 (21)
décrochement de vis, couple initial de défaut des dentures	TM 320 (277) PT 500.15 (242)
déformation d'un arc parabolique	SE 110.16 (52)
déformation d'un bâti	SE 110.20 (92)
déformation d'un treillis	SE 110.44 (96)
déformation d'une barre	WP 100 (90)
déformation d'une poutre	WP 100 (90)
déformation d'une poutre à axe courbe	FL 170 (94)
déformation d'une poutre droite	FL 100 (122) FL 102 (124) SE 110.47 (86) WP 950 (84)
déformation de flexion d'une poutre avec section en L	FL 160 (114)
déformation de flexion d'une poutre avec section en U	FL 160 (114)
déformation de flexion de la poutre courbe	FL 170 (94)
déformation de flexion de poutres droites	FL 100 (122) FL 102 (124) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 950 (84)
déformation élastique d'un ressort	TM 110.01 (18)
déformation en cas de torsion	SE 110.29 (88) WP 100 (90)
déformation en cas de traction	FL 100 (122)
déformation principale	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
déformation radiale	FL 120 (130) FL 140 (134)
déformation tangentielle	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
denture droite, roues dentées	PT 500.15 (242)
dérive	PT 500.14 (240)
dessin industriel	TZ 100 (258) TZ 200.02 (262) TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
détermination des efforts dans la barre	FL 111 (22) SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 130 (42) TM 115 (21)
détermination du module d'élasticité	FL 100 (122) WP 100 (90) WP 120 (110)

Mot-clé	Code (page)
E	
déviat, moment de	FL 160 (114)
diagnostic de machine	PT 500 (224)
diagramme contrainte-déformation	MT 190 (310) MT 190.01 (312) WP 300 (332) WP 310 (334)
diagramme de corps libre	SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.53 (24) SE 130 (42)
diagramme de Wöhler	WP 140 (348)
diagramme déformation-temps	WP 600 (350)
diagramme énergie de choc-température	WP 400 (340) WP 410 (342)
diagramme force-allongement	MT 190 (310) MT 190.01 (312) SE 110.48 (338)
diagramme moment de torsion-angle de torsion	WP 500 (344) WP 510 (346)
différence des contraintes principales	FL 200 (136) FL 210 (138)
direction des contraintes principales	FL 120 (130) FL 130 (132) FL 140 (134)
distance entre les axes (roues dentées)	PT 500.15 (242)
dommage sur les paliers	PT 500.12 (236) PT 500.15 (242) PT 501 (220)
dommages aux engrenages	PT 500.15 (242)
dommages des dentures	PT 500.15 (242)
dommages sur les paliers à roulement	PT 500.12 (236) PT 501 (220)
données sur les surfaces	TZ 200.08 (263) TZ 200.11 (266) TZ 200.61 (260) TZ 200.71 (268) TZ 300 (264)
double manivelle	KI 130 (148)
dynamique du mouvement de rotation, principe fondamental de la	TM 612 (156)
E	
écrous	MG 901 (274)
effet d'absorption	TM 150 (178) TM 182 (210)
effet gyroscopique	PT 500.18 (248)
effet slip-stick	TM 200 (72) TM 210 (70) TM 225 (73) TM 260.04 (362)
effort de flambement	SE 110.19 (104) WP 120 (110) WP 121 (108)
efforts dans la barre, détermination des	FL 111 (22) SE 110.21 (38) SE 110.22 (40) SE 110.44 (96) SE 130 (42) TM 115 (21)
efforts de coupe au niveau de la poutre	WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
efforts de coupe au niveau du bâti	SE 110.20 (92)
efforts de coupe : force normale, effort tranchant, moment de flexion	WP 960 (30) WP 961 (32) WP 962 (33)
élasto-hydrodynamique (théorie EHD)	TM 260.02 (358)
éléments de machine, éléments de transmission	GL 100 (280) GL 110 (281) TM 123 (282) TM 124 (283) TM 125 (284) TM 220 (74/286)
éléments de machine, paliers	MG 911 (279) MT 170 (300) MT 171 (302)
éléments de machine, raccords	MG 901 (274) MG 903 (275) MG 905 (276) TM 320 (277) TM 310 (278)
éléments de transmission, éléments de machine	GL 100 (280) GL 110 (281) TM 123 (282) TM 124 (283) TM 125 (284) TM 220 (74/286)
emboutissage, essai d'	WP 300 (332) WP 310 (334)
énergie de choc	WP 400 (340) WP 410 (342)
énergie de déformation	SE 110.44 (96)
engrenage	GL 100 (280) GL 105 (152) GL 212 (160) GL 410 (288) MT 152 (304) PT 500.15 (242) TM 110.03 (20) TM 123 (282)
engrenage à friction	GL 100 (280)
engrenage à roues coniques	GL 300.02 (269) GL 410 (288) GL 420 (290)
engrenage à vis sans fin	AT 200 (296) GL 300.01 (268) GL 420 (290) TM 124 (283)

Index

Mot-clé	Code (page)	
engrenage droit	AT 200 (296) GL 300.03 (269) GL 420 (290) MT 152 (304)	GL 105 (152) GL 410 (288) TM 123 (282)
engrenage droit et à vis sans fin	MT 110.02 (306)	
engrenage planétaire	GL 105 (152) GL 300.05 (269)	GL 212 (160)
engrenages, fonctionnement des	GL 410 (288) GL 430 (292)	GL 420 (290) TM 123 (282)
engrenages, rendement des	TM 220 (282)	
entraînement à crémaillère	GL 410 (288)	GL 420 (290)
entraînement double	PT 500.14 (240)	
entraînement par chaîne	GL 410 (288)	GL 420 (290)
entraînement par courroie	GL 100 (280) GL 420 (290) TM 220 (74/286) PT 500.14 (240)	GL 410 (288) GL 430 (292)
entraînement par courroie multiple	PT 500.14 (240)	
entraînements mécaniques	GL 410 (288) GL 430 (292)	GL 420 (290)
épure de Cremona	SE 130 (42)	SE 130.01 (44)
équation de base de la flexion droite	SE 110.47 (86)	WP 950 (84)
équilibrage	PT 500 (224) TM 170 (202)	PT 502 (204)
équilibrage sur site	PT 500 (224) PT 502 (204)	PT 500.10 (232)
équilibre d'un corps rigide	SE 110.53 (24)	
équilibre des forces	TM 110 (16) TM 225 (73)	TM 110.01 (18)
équilibre des moments	EM 049 (23) TM 121 (26)	TM 110 (16) TM 122 (27)
erreur d'alignement	PT 500 (224) PT 500.13 (238)	PT 500.10 (232)
erreur de Cardan	KI 150 (150)	
erreur de pas	PT 500.13 (238)	
essai de cisaillement	WP 300 (332)	WP 310 (334)
essai de compression	SE 100 (336) WP 310 (334)	WP 300 (332)
essai de dureté Brinell	MT 190 (310) WP 310 (334)	WP 300 (332)
essai de flexion	FL 100 (122) SE 110.14 (82) SE 110.48 (338) WP 300 (332)	SE 100 (336) SE 110.47 (86) WP 100 (90) WP 310 (334)
essai de fluage	WP 600 (350)	
essai de résilience Charpy	WP 400 (340)	WP 410 (342)
essai de résistance à la fatigue	WP 140 (348)	
essai de torsion	FL 100 (122) WP 100 (90) WP 510 (346)	SE 110.29 (88) WP 500 (344)
essai de traction	MT 190 (310) WP 310 (334)	WP 300 (332)
essai d'emboutissage	WP 300 (332)	WP 310 (334)
essai des matériaux	MT 190 (310) WP 140 (348) WP 310 (334) WP 410 (342) WP 510 (346)	SE 100 (336) WP 300 (332) WP 400 (340) WP 500 (344) WP 600 (350)
état d'un palier	PT 501 (220)	
état de contrainte axiale	WP 130 (116)	
état de contrainte biaxiale	FL 130 (132)	
état de contrainte plane	FL 120 (130)	FL 130 (132)
état de contrainte triaxiale	FL 140 (134)	
état des machines, surveillance de	PT 500 (224)	
état du palier à roulement	PT 500.12 (236)	PT 501 (220)
Euler, contrainte de flambement	WP 120 (110)	WP 121 (108)
excitation à balourd	PT 500.10 (232) TM 155 (188)	TM 150 (178) TM 123 (282)
exercices de mesure	TZ 100 (258) TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268)	TZ 200.08 (263) TZ 200.61 (260) TZ 300 (264)
Eytelwein, formule (frottement d'un câble)	TM 220 (74/286)	

Mot-clé	Code (page)	
F		
facteur k d'un jauge de contrainte	FL 102 (124)	
fatigue du matériau	PT 500.11 (234) WP 600 (350)	WP 140 (348)
fatigue, rupture de	PT 500.11 (234)	
filet de vis	TM 320 (277)	
filetage Whitworth	MG 905 (276)	
filetage, pas de	TM 320 (277)	
filetage, rendement de	TM 310 (278)	
filetage, types de	MG 905 (276)	TM 310 (278)
film lubrifiant	TM 260.02 (358) TM 260.03 (360) TM 260.06 (366) TM 280 (372) TM 290 (374)	TM 282 (370)
fissure radiale	PT 500.11 (234)	
flambement	SE 110.19 (104) WP 120 (110)	SE 110.57 (106) WP 121 (108)
flambement, contrainte de	SE 110.19 (104) WP 121 (108)	WP 120 (110)
flambement, effort de	SE 110.19 (104) WP 121 (108)	WP 120 (110)
fléchissement de poutres	SE 110.47 (86) WP 950 (84) WP 961 (32)	WP 100 (90) WP 960 (30) WP 962 (33)
flexion alternée	SE 110.58 (181) TM 620 (196)	PT 500.10 (232)
flexion axiale	FL 160 (114)	WP 130 (116)
flexion biaxiale	FL 160 (114)	
flexion droite d'une poutre	FL 160 (114)	
flexion droite, équation de base	SE 110.47 (86)	WP 950 (84)
flexion et torsion	FL 160 (114) WP 130 (116)	WP 100 (90)
flexion gauche	FL 160 (114)	
fluage, essai de	WP 600 (350)	
fluage, processus de	WP 600 (350)	
flux de cisaillement dans les poutres à paroi mince	FL 160 (114)	
fonctionnement des engrenages	GL 410 (288) GL 430 (292)	GL 420 (290) TM 123 (282)
force apparente	TM 605 (166)	
force centrifuge	TM 600 (162)	TM 632 (168)
force de contact	TM 262 (98)	
force de Coriolis	TM 605 (166)	
force de frottement	TM 200 (72) TM 260.01 (356) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364)	TM 210 (70) TM 260.03 (360)
force due à la masse	PT 500.16 (244)	TM 180 (206)
force due aux gaz	PT 500.16 (244)	
force, transmission de	TM 110.02 (19) TM 125 (284)	TM 122 (27)
forces avec point d'application commun	TM 110 (16)	
forces de frottement sur des paliers de tourillon	TM 232 (368)	
forces et moments internes	SE 110.12 (48) WP 960 (30) WP 962 (33)	SE 110.18 (46) WP 961 (32)
forces, équilibre des	TM 110 (16) TM 225 (73)	TM 110.01 (18)
forces, méthodes des	FL 170 (94)	
forces, parallélogramme des	TM 110 (16)	TM 115 (21)
forme propre d'un corps	HM 159.11 (194)	TM 625 (198)
formule d'Euler du flambement	SE 110.57 (106) WP 121 (108)	WP 120 (110)
formule de frottement d'un câble	TM 220 (74/286)	
formule d'Eytelwein (frottement d'un câble)	TM 220 (74/286)	
franges isochromatiques	FL 200 (136)	FL 210 (138)
frein à particules magnétiques	AT 200 (296)	
frein de vis	MG 903 (275)	TM 320 (277)

Mot-clé	Code (page)	
fréquence de passage des pales	PT 500.18 (248)	
fréquence propre	HM 159.11 (194) TM 150.02 (190)	SE 110.58 (181) TM 164 (175)
frottement	TM 110.01 (18) TM 210 (70) TM 225 (73)	TM 200 (72) TM 220 (74/286)
frottement d'adhérence	TM 110.01 (18) TM 210 (70) TM 260.04 (362)	TM 200 (72) TM 225 (73)
frottement de câble	TM 220 (74/286)	
frottement de courroie	TM 220 (74/286)	
frottement de glissement	TM 110.01 (18) TM 210 (70) TM 232 (368) TM 260.03 (360) TM 260.04 (362) TM 260.05 (364)	TM 200 (72) TM 225 (73) TM 260.01 (356)
frottement de palier	TM 232 (368)	
frottement de roulement	TM 110.01 (18) TM 260.01 (356)	TM 232 (368)
frottement mécanique	TM 200 (72) TM 220 (74/286) TM 225 (73)	TM 210 (70)
frottement sur palier à roulement	TM 232 (368)	
frottement sur palier lisse	TM 232 (368)	TM 282 (370)
G		
géométrie de direction	KI 160 (151)	
géométrie descriptive	TZ 100 (258)	
glissement	PT 500.14 (240)	TM 260.01 (356)
Grashof, condition de	KI 130 (148)	
gyroscope	TM 630 (164)	
H		
harnais d'engrenage à changement de vitesse	GL 430 (292)	
Hartnell, régulateur	TM 632 (168)	
Hertz, pression de	TM 262 (98)	
Hooke, loi de	TM 110.01 (18)	TM 400 (100)
Howe, treillis de type	SE 130 (42)	
hypothèse des contraintes	WP 130 (116)	
hypothèse des contraintes de cisaillement	FL 140 (134)	WP 130 (116)
hypothèse des contraintes normales	WP 130 (116)	
hypothèses de Bernoulli	FL 160 (114)	
hypothèses de défaillance	WP 130 (116)	
I		
identification de la fissure	PT 500.11 (234)	
images de contraintes	FL 200 (136)	FL 210 (138)
indications de tolérances	TZ 200.08 (263) TZ 200.61 (260) TZ 300 (264)	TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268)
influence du module d'élasticité	WP 100 (90) WP 950 (84)	WP 120 (110)
informations de fabrication	TZ 200.08 (263) TZ 200.61 (260) TZ 300 (264)	TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268)
interstice de lubrification	TM 260.06 (366) TM 280 (372) TM 290 (374)	TM 282 (370)
J		
jauge de contrainte	FL 100 (122) FL 120 (130) FL 140 (134)	FL 102 (124) FL 130 (132)
jeu de palier	MT 170 (300) TM 290 (374)	PT 500.16 (244)
jeu des roues dentées	PT 500.15 (242)	PT 500.16 (244)
L		
Laval, rotor de	TM 625 (198)	
ligne d'appui	SE 110.17 (50)	

Mot-clé	Code (page)	
ligne d'influence	SE 110.12 (48) WP 950 (84)	SE 110.17 (50)
ligne de chaînette	SE 110.18 (46)	SE 110.50 (34)
ligne des naissances	SE 110.17 (50)	
ligne élastique	SE 110.47 (86) WP 950 (84)	WP 100 (90)
limite apparente d'élasticité	WP 130 (116)	
liste de pièces	TZ 200.08 (263) TZ 200.71 (268)	TZ 200.11 (266) TZ 300 (264)
loi d'élasticité	FL 130 (132)	TM 400 (100)
loi de Hooke	TM 110.01 (18)	TM 400 (100)
loi de la chute des corps	TM 611 (155)	
lois du gyroscope	TM 630 (164)	
M		
masse oscillante	PT 500.16 (244)	
Maxwell-Betti	SE 110.14 (82)	WP 950 (84)
mécanisme à 4 barres	KI 130 (148)	
mécanisme à coulisse	KI 120 (147)	KI 140 (149)
mécanisme à piston	PT 500 (224)	
mécanisme à retour rapide	KI 140 (149)	
mécanisme bielle-manivelle	KI 110 (146) KI 140 (149) TM 180 (206)	KI 120 (147) PT 500.16 (244)
mécanisme de Whitworth	KI 140 (149)	
mesure de l'usure	PT 500.16 (244)	
méthode de Mohr concernant le diagramme des moments	SE 110.47 (86)	
méthode de superposition	SE 110.47 (86)	SE 110.20 (92)
méthode des nœuds	FL 111 (22) SE 110.22 (40) SE 130.01 (44)	SE 110.21 (38) SE 130 (42)
méthode des sections	SE 110.12 (48) WP 961 (32)	WP 960 (30) WP 962 (33)
méthode des sections de Ritter	SE 110.21 (38) SE 130 (42)	SE 110.22 (40) SE 130.01 (44)
méthode graphique pour la détermination de la courbe des efforts tranchants et de la courbe des moments	SE 110.47 (86)	
méthode par approximation selon Raleigh	SE 110.58 (181)	
méthodes des forces	FL 170 (94)	WP 950 (84)
méthodes énergétiques	SE 110.44 (96)	
modèle de bateau	HM 159.11 (194)	
modèles géométriques	TZ 100 (258)	
modification de la rigidité	PT 500.11 (234)	
module d'élasticité, détermination	FL 100 (122) WP 120 (110)	WP 100 (90)
module de cisaillement	SE 110.29 (88)	
moment alterné	PT 500.16 (244)	
moment d'inertie	TM 140 (192) TM 163 (174) TM 611 (155)	TM 162 (173) TM 610 (154) TM 612 (156)
moment d'inertie géométrique polaire	SE 110.20 (92)	SE 110.29 (88)
moment de déviation	FL 160 (114)	
moment de flexion pur	WP 130 (116)	
moment de torsion	SE 110.29 (88) WP 130 (116) WP 510 (346)	WP 100 (90) WP 500 (344)
moment de torsion pur	WP 130 (116)	
moment d'inertie de masse	TM 140 (192) TM 163 (174) TM 611 (155)	TM 162 (173) TM 610 (154) TM 612 (156)
moment d'inertie géométrique axial	FL 160 (114)	
moments gyroscopiques	TM 630 (164)	
montage en pont (jauges de contrainte)	FL 100 (122)	
montage en série de ressorts	TM 400 (100)	
mouton pendule	WP 400 (340)	WP 410 (342)
mouvement de rotation uniformément accéléré	TM 612 (156)	

Index

Mot-clé	Code (page)	
N		
Norton, train baladeur	GL 200 (294)	GL 430 (292)
O		
oscillation pendulaire	TM 150 (178)	TM 161 (172)
P		
pales, vibrations des	PT 500.18 (248)	
palier à roulement	MG 911 (279) PT 501 (220)	PT 500.12 (236) TM 232 (368)
palier lisse	MT 170 (300) TM 232 (368) TM 282 (370)	MT 171 (302) TM 260.06 (366) TM 290 (374)
palier lisse hydrodynamique	MT 171 (302) TM 282 (370)	TM 260.06 (366)
palier, état de	PT 501 (220)	
palier, frottement de	TM 232 (368)	TM 282 (370)
palier, jeu de	MT 170 (300) TM 290 (374)	PT 500.16 (244)
paliers, dommage sur les	PT 500.12 (236) PT 501 (220)	PT 500.15 (242)
paliers, éléments de machine	MG 911 (279) MT 171 (302)	MT 170 (300)
paliers, vibrations de	PT 500 (224)	
parallélogramme des forces	TM 110 (16)	TM 115 (21)
pas de filetage	TM 320 (277)	
pas, erreur de	PT 500.13 (238)	
passage des pales, fréquence de	PT 500.18 (248)	
pendule	TM 150 (178) TM 162 (173)	TM 161 (172)
pendule à fil	TM 161 (172)	
pendule à tige	TM 161 (172)	
pendule de Kater (réversible)	TM 150 (178)	
pendule mathématique	TM 150 (178) TM 162 (173)	TM 161 (172)
pendule physique	TM 150 (178) TM 611 (155)	TM 162 (173)
pensée spatiale	TZ 100 (258)	
photoélasticimétrie	FL 200 (136)	FL 210 (138)
pièces cylindriques	TZ 100 (258)	
pièces normalisées	MG 901 (274)	MG 911 (279)
plan incliné	TM 110.01 (18) TM 611 (155)	TM 225 (73)
Poisson, coefficient de	FL 130 (132)	
polariscope	FL 200 (136)	FL 210 (138)
pont de Wheatstone	FL 100 (122)	
pont suspendu	SE 110.18 (46)	
Porter, régulateur	TM 632 (168)	
poulie	TM 110.02 (19)	
poutre à deux travées	SE 110.14 (82) WP 950 (84)	SE 110.47 (86)
poutre à plusieurs travées	SE 110.47 (86)	WP 950 (84)
poutre à travée unique	SE 110.47 (86) WP 950 (84)	WP 100 (90)
poutre à trois travées	SE 110.12 (48)	WP 950 (84)
poutre articulée	SE 110.12 (48)	
poutre cantilever	SE 110.12 (48)	
poutre circulaire	FL 170 (94)	
poutre courbe	FL 170 (94)	
poutre en demi-cercle	FL 170 (94)	
poutre en flexion	FL 160 (114)	SE 110.58 (181)
poutre en porte-à-faux	SE 110.14 (82) WP 100 (90)	SE 110.47 (86) WP 950 (84)
poutre en quart de cercle	FL 170 (94)	
poutre oscillante	TM 150 (178)	
précession	TM 630 (164)	
pression hertzienne	TM 262 (98)	
principe des forces virtuelles	FL 170 (94)	SE 110.20 (92)

Mot-clé	Code (page)	
P		
principe des leviers	EM 049 (23)	TM 110 (16)
principe du déplacement virtuel	SE 110.20 (92)	
principe du travail et de l'énergie	SE 110.44 (96)	
principe du travail virtuel	SE 110.20 (92) WP 100 (90)	SE 110.47 (86) WP 950 (84)
principe fondamental de la dynamique du mouvement de rotation	TM 612 (156)	
problèmes de stabilité (barre)	SE 110.19 (104) WP 121 (108)	WP 120 (110)
processus de fluage	WP 600 (350)	
processus de montage	MT 110.02 (306) MT 170 (300) MT 190 (310) TZ 200.71 (268)	MT 152 (304) MT 171 (302) TZ 200.11 (266) TZ 300 (264)
Proell, régulateur	TM 632 (168)	
Q		
quadrilatère articulé	KI 130 (148)	
R		
raccords, éléments de machine	MG 901 (274) MG 905 (276) TM 310 (278)	MG 903 (275) TM 320 (277)
Raleigh, méthode par approximation selon	SE 110.58 (181)	
R		
rapport de transmission	GL 105 (152) GL 420 (290) TM 110.03 (20) TM 124 (283) TZ 300 (264)	GL 410 (288) GL 430 (292) TM 123 (282) TZ 200.71 (268)
réactions d'appui	SE 110.12 (48) SE 110.17 (50) SE 110.22 (40) SE 130 (42)	SE 110.16 (52) SE 110.21 (38) SE 110.44 (96) WP 950 (84)
régulateur centrifuge	TM 632 (168)	
régulateur Hartnell	TM 632 (168)	
régulateur Porter	TM 632 (168)	
régulateur Proell	TM 632 (168)	
régulation de la vitesse de rotation	TM 632 (168)	
rendement d'un filetage	TM 310 (278)	
rendement des engrenages	AT 200 (296) GL 212 (160)	GL 210 (158) TM 123 (282)
renversement de marche	GL 430 (292)	
répartition de pression dans un palier lisse	TM 260.06 (366) TM 280 (372)	TM 290 (374)
réponse en amplitude	TM 155 (188)	
représentation en trois vues	TZ 100 (258)	
représentation spatiale	TZ 100 (258)	
réservoir à paroi épaisse sous pression	FL 140 (134)	
réservoir à paroi mince sous pression	FL 130 (132)	
résilience	WP 400 (340)	WP 410 (342)
résistance à la torsion	WP 500 (344)	WP 510 (346)
résonance	PT 500 (224) PT 500.14 (240) TM 150 (178) TM 620 (196)	PT 500.10 (232) TM 140 (192) TM 155 (188) TM 625 (198)
ressort, rigidité de	TM 164 (175)	TM 400 (100)
ressort, test de	WP 300 (332)	WP 310 (334)
rigidité de ressort	TM 164 (175)	TM 400 (100)
rigidité de torsion	SE 110.29 (88) TM 150.02 (190)	TM 140 (192)
rigidité en torsion	TM 140 (192)	TM 150.02 (190)
rotor	PT 500.10 (232) TM 620 (196)	PT 500.11 (234) TM 625 (198)
rotor de Laval	TM 625 (198)	
roues à denture hélicoïdale	PT 500.15 (242)	
roues de friction	TM 260.01 (356)	
rupture de fatigue	PT 500.11 (234)	
rupture, comportement de	WP 400 (340)	WP 410 (342)

Mot-clé	Code (page)	
S		
sollicitation composée	FL 160 (114)	WP 130 (116)
spectre des vibrations	PT 500 (224) PT 500.12 (236) PT 500.16 (244) PT 500.18 (248)	PT 500.11 (234) PT 500.14 (240) PT 500.17 (246) PT 501 (220)
spectres de fréquence	PT 500 (224)	
Steiner, théorème de	TM 611 (155)	
superposition, méthode de	SE 110.47 (86)	SE 110.20 (92)
surface de contact	TM 262 (98)	
surveillance de l'état des machines	PT 500 (224)	
système de forces dans le plan	FL 111 (22) TM 110 (16)	SE 110.53 (24) TM 115 (21)
système hyperstatique	SE 110.14 (82) SE 110.20 (92) SE 110.44 (96) WP 100 (90)	SE 110.16 (52) SE 110.22 (40) SE 110.47 (86) WP 950 (84)
système masse-ressort	TM 150 (178) TM 400 (100)	TM 164 (175)
systèmes porteur en plusieurs parties	SE 110.12 (48)	
T		
tablier	GL 430 (292)	
technique de mesure des vibrations	PT 500 (224)	PT 500.04 (228)
technique d'entraînement	GL 410 (288) GL 430 (292)	GL 420 (290)
temps d'arrêt	PT 500 (224)	
tension de courroie	PT 500.14 (240)	
test de ressort	WP 300 (332)	WP 310 (334)
théorème de Castigliano	SE 110.44 (96)	
théorème de Steiner	TM 611 (155)	
théorèmes de Maxwell-Betti	SE 110.14 (82)	WP 950 (84)
théorèmes des transpositions	SE 110.14 (82)	WP 950 (84)
théorie d'Ackermann	KI 160 (151)	
théorie de l'élasticité du premier ordre (structures portantes)	SE 110.20 (92)	
théorie des poutres	FL 160 (114) SE 110.47 (86) WP 950 (84)	SE 110.14 (82) WP 100 (90)
torsion	TM 140 (192) TM 163 (174)	TM 150.02 (190)
torsion d'un tube	SE 110.29 (88)	
torsion d'un tube fendu en longueur	SE 110.29 (88)	
torsion d'un tube rectangulaire	SE 110.29 (88)	
torsion d'une barre ronde	FL 100 (122) WP 100 (90) WP 510 (346)	SE 110.29 (88) WP 500 (344)
toupie entraînée	TM 630 (164)	
tracking, analyse de suivi	PT 500 (224)	
traction, essai de	MT 190 (310) WP 310 (334)	WP 300 (332)
train baladeur	GL 430 (292)	
train baladeur Norton	GL 200 (294)	GL 430 (292)
trajectoire	PT 500.10 (232)	
trajectoire sous-critique	PT 500.10 (232)	
trajectoire surcritique	PT 500.10 (232)	
transmission à articulation tournante	KI 130 (148)	
transmission de force	TM 110.02 (19) TM 125 (284)	TM 122 (27)
travail de levage	TM 110.02 (19)	
travail virtuel	SE 110.20 (92) WP 950 (84)	SE 110.47 (86)
treillis	FL 111 (22) SE 110.22 (40) SE 130 (42)	SE 110.21 (38) SE 110.44 (96)
treillis de type Howe	SE 130 (42)	
treillis de type Warren	SE 130.01 (44)	
treillis hyperstatique	SE 110.22 (40)	

Mot-clé	Code (page)	
T		
treuil	TM 125 (284)	
tribologie	TM 232 (368) TM 280 (372) TM 290 (374)	TM 260 (354) TM 282 (370)
types de filetage	MG 905 (276)	TM 310 (278)
U		
usure dans les engrenages	PT 500.15 (242)	
usure dans les systèmes tribologiques	TM 260.03 (360) TM 260.05 (364)	TM 260.03 (360)
V		
vibration à friction	TM 260.04 (362)	
vibration amortie	TM 150 (178)	TM 155 (188)
vibration d'accouplement	PT 500.13 (238)	
vibration de fonctionnement	PT 500.17 (246)	TM 182 (210)
vibration de torsion	TM 140 (192) TM 162 (173) TM 164 (175)	TM 150.02 (190) TM 163 (174)
vibration forcée	TM 140 (192) TM 155 (188)	TM 150 (178)
vibration libre	SE 110.58 (181)	TM 155 (188)
vibration non amortie	TM 150 (178)	
vibration propre	HM 159.11 (194)	
vibrations au niveau de la machine	PT 500 (224) PT 502 (204)	PT 500.19 (250)
vibrations dans les accouplements	PT 500.13 (238)	
vibrations dans les paliers à roulement	PT 500.12 (236)	PT 501 (220)
vibrations dans les ventilateurs	PT 500.18 (248)	
vibrations de commandes à manivelle	PT 500.16 (244)	
vibrations de paliers	PT 500 (224)	
vibrations des arbres	PT 500 (224)	
vibrations des pales	PT 500.18 (248)	
vibrations dues au balourd	PT 500 (224) TM 170 (202)	PT 502 (204)
vibrations électromécaniques	PT 500.19 (250)	
vibrations sur les entraînements par courroie	PT 500.14 (240)	
vibrations sur les fondations de machines	TM 182 (210)	
vis	MG 901 (274)	TM 320 (277)
vis sans fin basculante	GL 430 (292)	
vitesse de rotation critique	PT 500.10 (232) TM 620 (196)	PT 500.14 (240) TM 625 (198)
volant d'inertie	TM 232 (368)	TM 612 (156)
vue en coupe	TZ 200.11 (266) TZ 200.71 (268)	TZ 200.61 (260) TZ 300 (264)
W		
Warren, treillis de type	SE 130.01 (44)	
Whitworth, filetage	MG 905 (276)	
Whitworth, mécanisme de	KI 140 (149)	
Wöhler, diagramme de	WP 140 (348)	

Aperçu de produits

AT		
AT 200	Détermination du rendement des engrenages	296
CE		
CE 105	Corrosion des métaux	376
EM		
EM 049	Équilibre des moments d'un levier à deux bras	23
FL		
FL 100	Système didactique pour jauge de contrainte	122
FL 101	Kit d'application pour jauge de contrainte	120
FL 102	Détermination du facteur k par les jauges de contrainte	124
FL 111	Forces dans un treillis simple	22
FL 120	Analyse des contraintes au niveau d'un diaphragme	130
FL 130	Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi mince	132
FL 140	Analyse des contraintes au niveau d'un réservoir à paroi épaisse	134
FL 152	Amplificateur de mesure multivoie	56/128
FL 160	Flexion gauche	114
FL 170	Déformation des poutres à axe courbe	94
FL 200	Essais photoélastiques à l'aide d'un polariscope par transmission	136
FL 210	Démonstration photoélastique	138
GL		
GL 100	Principe des engrenages	280
GL 105	Modèle cinématique des engrenages	152
GL 110	Commande à came	281
GL 112	Étude des commandes à came	208
GL 200	Engrenage d'un tour	294
GL 210	Comportement dynamique des engrenages droits à plusieurs étages	158
GL 212	Comportement dynamique des engrenages planétaires à plusieurs étages	160
GL 300.01–	Modèles en coupe	270
GL 300.12		271
GL 410	Montage d'entraînements simples	288
GL 420	Montage d'entraînements combinés	290
GL 430	Montage de boîtes de vitesse	292
HM		
HM 159.11	Vibrations propres sur modèle de bateau	194
KI		
KI 110	Modèle cinématique d'un mécanisme bielle-manivelle	146
KI 120	Modèle cinématique d'un mécanisme à coulisse	147
KI 130	Modèle cinématique d'un quadrilatère articulé	148
KI 140	Modèle cinématique d'un mécanisme de Whitworth	149
KI 150	Modèle cinématique d'un arbre de transmission à joints de Cardan	150
KI 160	Modèle cinématique du mécanisme de direction d'Ackermann	151

MG		
MG 901	Kit de vis et écrous	274
MG 903	Kit de freins de vis	275
MG 905	Kit de filets	276
MG 911	Kit de paliers à roulement	279
MT		
MT 110.02	Montage d'un engrenage droit et à vis sans fin	306
MT 152	Montage d'un engrenage droit	304
MT 170	Montage d'un arbre avec paliers lisses	300
MT 171	Montage d'un palier lisse hydrodynamique	302
MT 172	Alignement d'entraînements, d'arbres et d'engrenages	308
MT 190	Montage: machine d'essais de matériaux	310
MT 190.01	Montage: acquisition de données pour essais de matériaux	312
PT		
PT 500	Système de diagnostic de machines, appareil de base	224
PT 500.01	Chariot mobile	227
PT 500.04	Analyseur de vibrations assisté par ordinateur	228
PT 500.05	Dispositif de freinage et de charge	230
PT 500.10	Jeu d'accessoires: arbre élastique	232
PT 500.11	Jeu d'accessoires: arbre fissuré	234
PT 500.12	Jeu d'accessoires: dommages sur les paliers à roulement	236
PT 500.13	Jeu d'accessoires: accouplements	238
PT 500.14	Jeu d'accessoires: courroie d'entraînement	240
PT 500.15	Jeu d'accessoires: dommages aux engrenages	242
PT 500.16	Jeu d'accessoires: système bielle-manivelle	244
PT 500.17	Jeu d'accessoires: cavitation dans les pompes	246
PT 500.18	Jeu d'accessoires: vibrations dans les ventilateurs	248
PT 500.19	Jeu d'accessoires: vibrations électromécaniques	250
PT 501	Dommages sur les paliers à roulement	220
PT 502	Équilibrage sur site	204
SE		
SE 100	Bâti pour essais de charge, 400kN	336
SE 110.12	Lignes d'influence au niveau de la poutre cantilever	48
SE 110.14	Courbe de flexion élastique d'une poutre	82
SE 110.16	Arc parabolique	52
SE 110.17	Arc à trois articulations	50
SE 110.18	Forces au niveau d'un pont suspendu	46
SE 110.19	Étude de problèmes de stabilité simples	104
SE 110.20	Déformation des bâtis	92
SE 110.21	Forces dans différents treillis plans	38
SE 110.22	Forces dans un treillis hyperstatique	40
SE 110.29	Torsion de barres	88
SE 110.44	Déformation d'un treillis	96
SE 110.47	Méthodes de détermination de la courbe de flexion élastique	86
SE 110.48	Essai de flexion, déformation plastique	338
SE 110.50	Câble soumis au poids propre	34
SE 110.53	Équilibre dans un système plan isostatique	24
SE 110.57	Flambement des barres	106
SE 110.58	Vibrations libres sur une poutre en flexion	181

SE 112	Bâti de montage	58/101
SE 130	Forces dans un treillis type Howe	42
SE 130.01	Poutre à treillis: type Warren	44
TM		
TM 110	Principe de la statique	16
TM 110.01	Jeu complémentaire plan incliné et frottement	18
TM 110.02	Jeu complémentaire poulies	19
TM 110.03	Jeu complémentaire roues dentées	20
TM 115	Forces dans le bras de grue	21
TM 121	Équilibre des moments sur des poulies	26
TM 122	Équilibre des moments sur une poulie différentielle	27
TM 123	Engrenage droit	282
TM 124	Engrenage à vis sans fin	283
TM 125	Treuil	284
TM 140	Vibrations de torsion libres et forces	192
TM 150	Système didactique sur les vibrations	178
TM 150.02	Vibrations de torsion libres et amorties	190
TM 150.20	Système d'acquisition de données	180
TM 155	Vibrations libres et forcées	188
TM 155.20	Système d'acquisition de données	191
TM 161	Pendule à tige et pendule à fil	172
TM 162	Pendules à suspension bifilaire / trifilaire	173
TM 163	Vibrations de torsion	174
TM 164	Vibrations d'un ressort spiral	175
TM 170	Appareil d'équilibrage	202
TM 180	Forces exercées sur les moteurs à piston alternatif	206
TM 182	Vibrations sur les fondations de machines	210
TM 182.01	Compresseur à piston pour TM 182	212
TM 200	Principes du frottement mécanique	72
TM 210	Frottement entre des corps solides	70
TM 220	Entraînement par courroie et frottement de courroie	74/286
TM 225	Frottement sur un plan incliné	73
TM 232	Frottement dans les paliers	368
TM 260	Dispositif d'entraînement pour essais de tribologie	354
TM 260.01	Frottement de roulement sur des roues de friction	356
TM 260.02	Comportement élasto-hydrodynamique	358
TM 260.03	Frottement de glissement sur goupille – disque	360
TM 260.04	Vibrations à friction	362
TM 260.05	Frottement de glissement sur goupille cylindrique – rouleau	364
TM 260.06	Répartition de pression dans des paliers lisses	366
TM 262	Pression de Hertz	98
TM 280	Répartition de pression dans des paliers lisses	372
TM 282	Frottement dans des paliers lisses	370
TM 290	Palier lisse avec lubrification hydrodynamique	374
TM 310	Contrôle de filetage	278
TM 320	Contrôle d'assemblages par vis	277
TM 400	Loi de Hooke	100
TM 600	Force centrifuge	162
TM 605	Force de Coriolis	166
TM 610	Inertie dans les mouvements de rotation	154
TM 611	Disque roulant sur un plan incliné	155
TM 612	Modèle cinétique volant d'inertie	156

TM 620	Rotors flexibles	196
TM 620.20	Système d'acquisition de données	200
TM 625	Arbres élastiques	198
TM 630	Gyroscope	164
TM 632	Régulateur centrifuge	168
TZ		
TZ 100	Dessin industriel: représentation en trois vues	258
TZ 200.02	Dessin industriel: pièce en fonte	262
TZ 200.08	Dessin industriel: cliquet	263
TZ 200.11	Montage d'un dispositif de pliage	266
TZ 200.61	Dessin industriel: composants à symétrie de rotation	260
TZ 200.71	Montage d'une cisaille à levier	268
TZ 300	Montage d'une presse à bras	264
WP		
WP 100	Déformation de barres soumises à une flexion ou à une torsion	90
WP 120	Flambement de barres	110
WP 121	Démonstration des cas de flambement d'Euler	108
WP 130	Démonstration des hypothèses des contraintes	116
WP 140	Essai de résistance à la fatigue	348
WP 300	Essai des matériaux, 20kN	332
WP 310	Essai des matériaux, 50kN	334
WP 400	Essai de résilience, 25Nm	340
WP 410	Essai de résilience, 300Nm	342
WP 500	Essai de torsion, 30Nm	344
WP 510	Essai de torsion 200Nm, entraînement moteur	346
WP 600	Essai de fluage	350
WP 950	Déformation de poutres droites	84
WP 960	Poutre sur deux supports: courbe des efforts tranchants et courbe des moments de flexion	30
WP 961	Poutre sur deux supports: courbe des efforts tranchants	32
WP 962	Poutre sur deux supports: courbe des moments de flexion	33



Contact

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15 – 17
D-22885 Barsbüttel
Allemagne

Tél. +49 (0)40 67 08 54 - 0
Fax +49 (0)40 67 08 54 - 42
Email sales@gunt.de
Web www.gunt.de



Consultez notre
page d'accueil
www.gunt.de

